14—

DIE

EINHEIT DER NATURKRÄFTE.

DIE

EINHEIT DER NATURKRÄFTE.

EIN BEITRAG ZUR NATURPHILOSOPHIE

VON

P. ANGELO SECCHI,

DIRECTOR DER STERNWARTE DES COLLEGIUM ROMANUM.

AUTORISIRTE ÜBERSETZUNG

VON

PROF. DR. L. RUD. SCHULZE.

ZWEITE, REVIDIRTE AUFLAGE.

ERSTER BAND.

MIT 22 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

BRAUNSCHWEIG.
VERLAG VON OTTO SALLE.

1884.

BIBLIOTHECA BAMBERGENSIS

STAATSBIBLIOTHEK
BAMBERG

VORWORT

zur zweiten Auflage der deutschen Uebersetzung.

Die Naturwissenschaften bezeichnet man gewöhnlich als exacte Wissenschaften, um damit anzudeuten, dass ihr Ziel und Streben darauf gerichtet ist alle ihre Lehren auf Thatsachen zu gründen, die mit solcher Strenge und Sorgfalt beobachtet sind, dass sich an ihrer Richtigkeit nicht zweifeln lässt. Wollte man aber den Grundsatz, dass nur auf unzweifelhaft erkannten Thatsachen weiter gebaut werden dürfe, in aller Strenge einhalten, wollte man mit anderen Worten sich einzig auf das inductive Verfahren beschränken, so können die Fortschritte in diesen Wissenschaften nur ausserordentlich langsam erfolgen. Der Naturforscher sieht sich daher genöthigt, in seinem Geiste den Thatsachen voraus zu eilen und in das noch nicht vollständig erschlossene Gebiet versuchsweise auf dem Wege der Hypothese einzudringen: er bleibt sich dabei immer bewusst, dass diese Hypothesen nur vorläufige Annahmen sind, welche erst Bestätigung durch die Thatsachen bedürfen und welche sofort modificirt oder auch ganz aufgegeben werden müssen, sobald sie sich mit neuen Beobachtungen nicht vereinigen lassen. So stützte Huyghens seine Theorie von der Brechung der Lichtstrahlen auf die Annahme, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im dichteren Mittel eine ge-

ringere sei als im dünneren, während Newton das Gegentheil voraussetzte. Als nun weit über hundert Jahre nach den Tagen jener beiden grossen Naturforscher Foucault den experimentellen Beweis brachte, dass sich das Licht wirklich im Wasser mit geringerer Geschwindigkeit fortpflanzt als in der Luft, so wurde diese Thatsache eine der gewichtigsten Stützen für die Undulationstheorie. Neben dem Verfahren der Induction, welches die gewonnenen Thatsachen zusammenfasst und in ein geordnetes System bringt, muss also auch das andere Verfahren, nämlich das der Deduction, immer einhergehen, welches von den gewonnenen Thatsachen auf die Gesetze schliesst und diese durch neu anzustellende Beobachtungen zu bestätigen sucht. Dabei wird sich der wahre Naturforscher immer bewusst bleiben müssen, inwieweit seine Annahmen noch der exacten Begründung entbehren, während leider häufig die Tagesliteratur Lehren, die noch vollständig in das Bereich der Hypothese gehören, dem grossen Publikum als vollendete Thatsachen hinstellt und dadurch, gerade weil sie sich mit dem Scheine der Exactheit umgiebt, statt aufzuklären, nur die Verbreitung von halbwahren oder ganz irrigen Ansichten befördert.

Was von den einzelnen Disciplinen der Naturwissenschaften gilt, das gilt in ähnlicher Weise auch von dem Gesammtgebiete: wie dort ein Vorausblicken über die Thatsachen hinaus höchst förderlich sein kann, wenn es mit dem Bewusstsein geschieht, dass jede Hypothese nur ein Erklärungsversuch ist, der erst der experimentellen Bestätigung bedarf, so dürfte auch der Versuch, das ganze System der Natur auf ein einheitliches Princip zurückzuführen, nicht ohne Nutzen sein. Dieses Princip darf aber zunächst nur ein in der Natur begründetes sein, während das Herbeiziehen transscendentaler Lehren, wie es von den

Naturphilosophen geschah, leicht von dem naturwissenschaftlichen Standpunkte hinweg leitet auf Gebiete, welche der heutigen Forschung noch weit abliegen. Diesen Versuch hat der berühmte römische Astronom in vorliegendem Werke gemacht, welches hiermit der deutschen Leserwelt zum zweiten Male vorgelegt wird: und wenn auch die Wissenschaft in den einzelnen Theilen noch nicht so weit vorgeschritten ist, dass die etwas weiter gehenden Hypothesen mit einiger Sicherheit auftreten können, und wenn auch der Verfasser vielleicht an manchen Stellen in seinen Annahmen fast zu kühn gewesen ist, so hat er doch den Gegenstand in so vielseitiger und geistreicher Weise behandelt, dass sein Werk auf alle Fälle geeignet ist, zu weiterem Nachdenken über diese interessanten Gegenstände anzuregen.

Der Uebersetzer hat geglaubt, dass er auch in dieser neuen Auflage die Worte des Verfassers in möglichst genauer Uebertragung wiedergeben müsse, zumal da durch den Tod desselben ein Austausch der Gedanken unmöglich geworden ist, der bei dem Erscheinen der ersten Auflage ein ziemlich lebhafter war: wobei hervorgehoben zu werden verdient, dass der berühmte Verfasser sich stets bereit erwies, alle Anfragen des Unterzeichneten in der liebenswürdigsten Weise zu beantworten. Nur an einer Stelle wagte der Uebersetzer eine nicht ganz unwesentliche Textänderung anzubringen und versuchte dieses Verfahren in einer betreffenden Ortes beigefügten Anmerkung zu rechtfertigen. Ausserdem hat er sich aber bemüht in Anmerkungen beizufügen, was etwa in der Zwischenzeit in Betreff der besprochenen Gegenstände an neuen Thatsachen aufgefunden worden ist.

Und so sei denn auch diese neue Auflage dem Wohlwollen der deutschen Leser empfohlen. Möge das Werk zu neuem

Streben auf den betreffenden Gebieten anregen und, wie es der Verfasser ausdrücklich erwähnt, nur als ein Versuch angesehen werden, einen Weg aufzufinden, der zur endlichen Lösung der letzten Probleme der Naturwissenschaft zu führen geeignet ist.

Döbeln, Ostern 1884.

L. R. Schulze.

INHALT

des ersten Bandes.

		Seite
Einleitung	. .	1
§ 1.	Ueber das Ziel dieses Werkes und seine Grenzen . . .	5
§ 2.	Allgemeine Grundsätze über die Unterscheidung der Kräfte	13
§ 3.	Classification der Naturkräfte	30

Erstes Buch. Die Wärme.

Kapitel I.	Grundbegriffe und allgemeine Gesetze der Wärme . . .	35
II.	Geschichtlicher Ueberblick über die Entwickelung der mechanischen Wärmelehre	41
III.	Verwandlung der Bewegung in Wärme	50
IV.	Verwandlung der Wärme in Bewegung	59
V.	Folgerungen aus den vorerwähnten Thatsachen. — Erhaltung der Kraft. — Nutzeffect	65
VI.	Prüfung der Arbeiten, welche die Wärme in den Körpern verrichtet .	75
VII.	Allgemeine Vorstellung der Aggregatzustände nach der mechanischen Wärmelehre. — Gasförmige Körper . . .	83
VIII.	Ueber den flüssigen und festen Zustand. — Abstossende Kräfte in flüssigen und festen Körpern	105
IX.	Prüfung der Arbeit im Innern der Körper, besonders bei den Erscheinungen der Ausdehnung	122
X.	Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand und umgekehrt	137
XI.	Verdampfung der Flüssigkeiten und Condensation der Dämpfe .	145
XII.	Chemische Zersetzung durch die Wärme. Absolute Wärmemenge in den Gasen	162
XIII.	Austausch der Wärme zwischen den Körpern von verschiedener Natur; Gesetz der chemischen Aequivalente .	172
XIV.	Die Wärme, welche bei den chemischen Thätigkeiten entwickelt wird	185
XV.	Rückblick auf das erste Buch und allgemeiner Schluss .	197

Zweites Buch. Das Licht.

Seite

Einleitung . 207

Kapitel I. Grunderscheinungen der Strahlung; Verschiedenheit der Strahlen . 209

II. Verschiedene Theorien über das Licht. Die Emissionstheorie . 220

III. Die Undulationstheorie. Der Aether 229

IV. Stofflichkeit des Aethers und Austausch der Bewegung zwischen ihm und der wägbaren Materie: Absorption des Lichtes . 248

V. Chemische Wirkungen des Lichtes. Fluorescenz und Phosphorescenz. Mechanische Wirkungen der Strahlen . 264

VI. Einfluss des Aethers auf die Constitution der Körper . 277

VII. Ueber einige Eigenthümlichkeiten der Wellenbewegung des Aethers in einem homogenen Mittel: Polarisation des Lichtes 294

VIII. Die Undurchsichtigkeit der Körper, und besonders die Eigenschaften der Metalle bezüglich des Lichtes . . . 305

IX. Ausbreitung des Lichtes in festen Körpern von ungleicher Elasticität: doppelte Brechung 317

X. Allgemeine Schlussbemerkungen zum zweiten Buche . . 327

Verbesserungen.

S. 109 Z. 19 v. o. lies Redtenbacher statt Rodtenbacher.

S. 183 Fig. 11 ist verkehrt eingestellt.

S. 249 Z. 4 u. 5 v. o. lies 28. Nov. 1883 den 235. statt 10. Sept. 1882 den 231.

EINLEITUNG.

Die grösste Entdeckung in der neueren Zeit, welche jetzt alle Naturforscher beschäftigt und unserem Zeitalter einen unvergänglichen Glanz verleiht, ist die Auffindung der mechanischen Wärmelehre, der Theorie, welche die Erscheinungen der Wärme durch einfache Bewegungsformen zu erklären versucht. Die Grundzüge dieser Theorie auseinanderzusetzen und ihre Anwendung auf die Gebiete der Physik auszudehnen, welche man früher als das Reich der Imponderabilien bezeichnete, das soll der Gegenstand dieses Werkes sein.

Sollte es Jemand Wunder nehmen, dass ein Astronom sich unterfängt einen Gegenstand zu behandeln, der ausschliesslich zur eigentlichsten Domäne der Physiker zu gehören scheint, so mag er bedenken, dass die Frage nach der Natur der Kräfte für die Astronomie in gleichem Masse wichtig ist. Aus zwei verschiedenen Gesichtspunkten lassen sich die Bewegungen der Himmelskörper betrachten: entweder kann man sie als die einfachen Folgen einer abstracten Kraft, der Schwerkraft, ansehen, so dass, wenn man nur weiss, nach welchen Gesetzen diese Kraft wirkt, sich das Uebrige durch mathematische Analysis ergiebt; oder auch als Wirkungen einer Ursache, eines Principes höherer Ordnung, von dem die Schwerkraft selbst nur eine Folge ist. Handelt es sich nun blos um die Berechnung der Planetenbewegungen, so kann jener erste Weg dem Astronomen wohl genügen: allein sobald nach einer Erklärung der anderen Erscheinungen gefragt wird, welche sich bei den Sternen, bei Kometen und Meteoren, ja bei der Sonne selbst zeigen, dann genügt er nicht mehr. Und nicht nur zur Erklärung der physikalischen Eigenthümlichkeiten, welche diese Körper darbieten, ist jenes

Princip ungenügend, die Bewegungsgesetze selbst weisen Abweichungen auf, die nicht vernachlässigt werden dürfen, und zu deren Verständnisse wir nothwendig gewisse Kräfte herbeiziehen müssen, deren Wirkung auf die uns umgebende Materie wir aus nächster Nähe kennen, mit denen wir sozusagen alltäglich hantiren.

Neuere Betrachtungen haben gezeigt, dass auch in dem Raume, in dem sich die Planeten bewegen, die ausdehnende Kraft der Wärme, der Widerstand der Mittel, die magnetische und elektrische Kraft in Wirksamkeit sind, so dass es keinem Zweifel unterliegt, dass auch diese Kräfte der ganzen Schöpfung angehören und eben so, wie das Licht, die entferntesten Körper der Welt unter einander verbinden.

Einem so verlockenden Gedanken gegenüber fühlte sich ein Astronom, der zu diesem seinem Lebensberufe zuvor mehrere Jahre dem Studium der Physik gewidmet hatte, getrieben die gegenseitige Beziehung jener Kräfte zu ergründen, ihre Principien zu erforschen, und zu untersuchen, ob sie sich nicht alle auf einen gemeinsamen Ursprung zurückführen lassen. Durch die grossen Fortschritte, welche die Wissenschaft in den jüngsten Zeiten gemacht hat, sind manche bedeutende Schwierigkeiten gehoben worden, die sich den Gelehrten bei der Behandlung ähnlicher Probleme entgegenstellten, und auch die in der Physik herrschenden Kräfte, und diejenigen, nach denen sich die Himmelskörper bewegen, können nicht mehr als von einander unabhängig angesehen werden. Die Existenz eines absolut leeren Raumes im Planetensysteme wird jetzt von Niemand mehr angenommen; hält man nun weiter die Kräfte nicht mehr für verborgene Eigenschaften, die der Materie innewohnen, sondern für einfache Wirkungen von Bewegungen, so ist damit den Naturforschern ein weites, noch nicht erschöpftes Feld für ihre Forschungen eröffnet.

Ich masse mir nicht an in vorliegendem Werke eine neue Naturphilosophie zu schaffen, sondern ich will nur die Ansichten auseinandersetzen, die in unseren Tagen bei dem Studium der Naturerscheinungen immer mehr an Geltung gewinnen. Im Verlaufe dieser Auseinandersetzungen wird der Leser die Arbeiten der wissenschaftlichen Grössen, die unserem Zeitalter seinen Glanz verleihen, erwähnt finden: für jetzt mag es genügen, dass ich auf Séguin, Joule, Thomson, Grove, Hirn, Lamé, Mayer, Tyndall, Clausius, Dumas, Cantoni, Fusinieri, Zantedeschi, Bixio, Turazza, Graham, Bunsen,

Foucault, Dupré, Maxwell u. a. als auf solche Männer, durch welche diese Theorie in sehr kurzer Zeit die grössten Fortschritte gemacht hat, hinweise. Schon diese Aufzählung würde, abgesehen von noch anderen Thatsachen, beweisen, dass unsere Zeit keine Ursache hat, die früheren Epochen, selbst die des grössten Glanzes der Wissenschaften, irgendwie zu beneiden.

Ich will nicht verschweigen, dass die Schwierigkeiten diesen Gegenstand in solcher Weise zu behandeln, dass er einem weiteren Leserkreise verständlich wird, grösser waren, als ich anfangs vermuthet hatte: denn aus dieser Rücksicht war es nothwendig die Beweise ihres analytischen Apparates und der weitschweifigen Rechnungen zu entkleiden, ohne dass sie dabei ihre zwingende Kraft einbüssten. Die Grundprincipien selbst aber können überhaupt nicht auf mathematischem Wege bewiesen werden; denn die Mathematik kann wohl aus den Principien die Folgerungen ziehen und auf diese Weise kostbare Mittel zur Bestätigung derselben darbieten, niemals aber ist sie im Stande, die ersten theoretischen Grundlagen zu beweisen. Auch den experimentellen Theil in geeigneter Weise darzulegen war nicht leicht. Ohne auf die Einzelnheiten der Experimente einzugehen, was den speciellen Werken vorbehalten bleiben muss, war es doch nöthig die Resultate in solcher Weise mitzutheilen, dass auch der, welcher nicht schon in die Tiefen der Wissenschaft eingeweiht ist, deren Wesen und Bedeutung wohl begreifen kann: denn sonst würde dieses Buch sowohl dem Einen langweilig, als auch dem Andern unverständlich sein. Da ich nun zwischen diesen beiden Uebeln zu wählen hatte, so zog ich das erstere vor, d. h. ich wollte lieber Ueberflüssiges bieten, als Mangelhaftes. Die Menge der mitgetheilten Thatsachen wird, besonders in gewissen Partien dieses Buches, genügen, um den Zusammenhang der einzelnen Zweige der Wissenschaft zu zeigen; und selbst wenn es den Hauptzweck, dem diese Arbeit dienen soll, verfehlte, so wird dieses mehr secundäre Ziel nicht ohne Nutzen für den Leser sein. Daher ist dieses Werk so angelegt, dass es besonders den jungen Leuten, die schon einige Kenntniss über den mehr elementaren Theil der Physik besitzen, zur Förderung ihres Verständnisses dieser Wissenschaft wohl dienen kann.

Das möchte ich noch erwähnen, dass beim Lesen dieses Buches wegen der Mannigfaltigkeit und Schwierigkeit des Stoffes doch eine ernstere Aufmerksamkeit erforderlich sein dürfte: es unterscheidet

sich darin von jenen gefälligen Erzeugnissen der Litteratur, die, halb wissenschaftlich, halb populär gehalten, wohl im Stande sind, die Wissenschaft in immer weitere Kreise zu verbreiten, niemals aber sie zu fördern. Mein Ziel war hauptsächlich jenes zweite, und immer, wenn meine Kraft erlahmen wollte, hat mich der Gedanke gestärkt, dass, wenn auch ich vielleicht das Ziel verfehlte, meine Mühe den Nutzen brächte, dass ein Anderer, dessen Kraft der meinigen überlegen ist, sich entschlösse den eingeschlagenen Weg weiter zu verfolgen, wenn er sieht, welches werthvolle Material, das ich nicht zu bewältigen verstand, bereits errungen ist.

Es wäre leicht gewesen an vielen Stellen schöne Abschweifungen anzubringen, welche ein so weiter und anziehender Gegenstand nahe legt: aber, wenn dadurch mein Buch auch angenehmer zu lesen wäre, so würde der Leser sich leicht zerstreuen und den Faden der Untersuchung verlieren. Dagegen habe ich, um das Auffinden dieses Zusammenhanges zu erleichtern, am Schlusse jedes Buches die wichtigsten Thatsachen, die in demselben behandelt wurden, zusammengestellt, so dass man sich von dem Inhalt eine Vorstellung machen kann, auch ohne das Ganze zu lesen.

Im Verlaufe der Jahre, die seit dem ersten Erscheinen dieses Werkes verflossen sind[1]), hat die Wissenschaft einige Entdeckungen gemacht, die ich, so lange es Zeit war, zu benutzen suchte, sobald sie zu meiner Kenntniss kamen: und ich habe dabei mit Freuden gesehen, dass, wenn ich auch neue Gründe und Beweise zu dem, was ich vorbereitet hatte, hinzufügen konnte, ich doch nichts zu berichtigen brauche. Daher will es mir scheinen, als sei die Wissenschaft auf einen Punkt angelangt, über welchen hinaus sich die Ansichten, die ich aufstellte, wohl durch weitere Entdeckungen noch klären, nicht aber als falsch erweisen können.

[1]) Das Originalwerk erschien zuerst 1864, als zweite Ausgabe ist die französische Bearbeitung des Dr. Deleschamps von 1869 anzusehen; an dritter Stelle erschien das Buch 1874 italienisch und französisch. Beide Ausgaben sind der deutschen Uebersetzung von 1876 zu Grunde gelegt, welche hiermit nach eingehender Revision zum zweiten Male erscheint. Auch hat der Uebersetzer sich erlaubt in Anmerkungen auf einige inzwischen aufgefundene Thatsachen, angestellte Beobachtungen und ausgesprochene Ansichten in dieser neuen Ausgabe der Uebersetzung hinzuweisen. Zur Unterscheidung sind die Anmerkungen des Originalwerkes mit S., die des Uebersetzers mit Sch. bezeichnet. Sch.

Indem ich mir diese Fortschritte zu Nutze machte, habe ich für nöthig gehalten, einige Partien meiner Arbeit den neuesten Entdeckungen gemäss zu erweitern, andere dagegen zu beschränken und mehrere Entwickelungen, die nicht mehr nöthig schienen, abzukürzen; zugleich habe ich hier und da eine Ungenauigkeit berichtigt, die in einem so umfassenden Werke nicht zu vermeiden war. Schliesslich scheint es mir nothwendig, über Ziel und Gegenstand dieses Werkes einiges vorauszuschicken, um Leser, deren Vorbereitung nicht ganz vollständig ist, vor irrigen Ansichten zu bewahren, und um zu verhindern, dass darin Dinge gesucht werden, die es nicht enthält, und dass sich somit der Leser irre führen und täuschen lasse.

Daher werde ich auf den folgenden Seiten eine kurze Auseinandersetzung der allgemeinen Principien, die im Buche selbst zur Anwendung kommen, vorausschicken und mir dadurch eine Unterbrechung der Entwickelung der Thatsachen und der speciellen Theorien ersparen. Hierbei habe ich mir erlaubt, einige algebraische Symbole zu gebrauchen, um den Gedanken einen schärferen Ausdruck geben zu können; allein ich habe es in einer Weise gethan, dass sie dem in die Mathematik nicht eingeweihten Leser kein Hinderniss sein können, indem man dieselben nur als präcisere Ausdrücke für die entwickelten Lehrsätze ansehen und unbeschadet des Zusammenhanges weglassen kann. Uebrigens würde ich wohl der Mehrzahl meiner Leser Unrecht thun, wenn ich annähme, dass sie der Elemente dieser Wissenschaft, soweit sie hier gebraucht werden, baar seien.

§. 1. Ueber das Ziel dieses Werkes und seine Grenzen.

Das Ziel dieses Werkes ist, zu zeigen, dass sich die Erscheinungen der Physik auf die allgemeinen Gesetze der Bewegung der Materie zurückführen lassen, vorausgesetzt, dass man ausser der wägbaren Materie im gewöhnlichen Sinne des Wortes noch einen anderen, unsichtbaren Stoff, der der Schwerkraft nicht unterworfen ist, annehmen darf; diesen unwägbaren Stoff, dessen Bewegungen die der wägbaren Materie unter mannigfachen Formen begleiten, nennen wir Aether.

Wie wir schon andeuteten, hat diese Vorstellung in den letzten Zeiten grosse Fortschritte gemacht; allein wir müssen gestehen, dass wir uns in einer der Perioden befinden, welche man mit den Phasen

einer oscillirenden Bewegung vergleichen kann, indem die Ansichten aus einem Extreme in das entgegengesetzte gerathen, ehe sie in einer Gleichgewichtslage zur Ruhe kommen. Während es kaum einige Jahrzehnte her ist, dass man die Annahme von einem halben Dutzend unwägbarer Flüssigkeiten zuliess, so ist man jetzt dagegen sehr geneigt, alle Agentien, die nicht rein wägbare Materie sind, zu leugnen. Nicht allein, dass man die Ausbreitung des Lichtes durch Vermittelung der im Raume verbreiteten wägbaren Materie erklärte, man ging sogar so weit zu sagen, dass, „um das Licht zu erklären, man nichts weiter braucht, als eine oscillirende Bewegung zwischen zwei Zuständen an einem Punkte des Raumes“.[1]) Damit dieser Ausspruch ja nicht missverstanden werde, beeilt sich der Verfasser noch hinzuzufügen, dass „niemand weiss, worin diese Zustände bestehen, dass sie aber nicht blos mechanische Verrückungen sind.“ Natürlich wirkten solche Ausschreitungen der Theorie auf sich selbst zurück, sodass sie bald von der Tagesordnung verschwanden: immerhin aber ist es peinlich zu sehen, wie die Eroberungen der Wissenschaft, die so viel Mühe gekostet haben, vernachlässigt werden, um an ihre Stelle die Erzeugnisse einer ungezügelten Phantasie zu setzen. Zwar gehen nicht alle bis zu diesem Extreme, doch fehlt es unter den bedeutendsten Gelehrten nicht an solchen, welche noch jetzt von jenem Mittel wie von einer Mythe sprechen.

Noch weiter ist man in Bezug auf die elektrischen Erscheinungen gegangen. Da man die engen Beziehungen bemerkte, die zwischen Wärme und Elektricität bei vielen Erscheinungen stattfinden, so verwarf man auch hier die Thätigkeit des Aethers und wollte alles auf eine Bewegung der wägbaren Materie zurückführen; man wies nicht blos die Ansicht, dass die Electricität eine eigenartige Flüssigkeit sei, zurück, sondern man liess überhaupt die Existenz eines unwägbaren Stoffes nicht gelten, der nach unserer Theorie genügt, um die Erscheinungen aus diesem Kapitel zu erklären: allein auch hier sind die Fernewirkungen der Magnete und der Drähte, welche ein Strom durchfliesst, Erscheinungen, welche sich durch die Annahme von nur wägbarer Materie schlecht erklären lassen.

Diese Schwierigkeiten glaubte man leicht durch die Theorie

[1]) Worte M. W. K. Clifford's in einer Sitzung im Königl. Institut zu London im Jahre 1847, mitgetheilt durch Bence in Revue des cours scientifiques, Jahrg. VII, p. 6. S.

der Polarität überwinden zu können, und damit kehrte man zu den Ansichten zurück, durch welche früher Faraday und Berzelius jene Erscheinungen erklärt hatten. Da man diese Polarität, deren Natur man weder kannte, noch definiren konnte, für die Ursache jener Thätigkeiten erklärte, so musste sich die Wissenschaft darauf beschränken, diesem Begriffe sowohl die elektro-dynamischen, als auch die elektro-statischen Erscheinungen unterzuordnen. Dadurch aber ist die Schwierigkeit nur zurückgedrängt, nicht gehoben: denn fragt man nun, worin diese Polarität besteht und wie sie in die Ferne und durch andere Körper hindurch wirken kann, so gibt es keine andere Antwort, als dass sie eine Elementarkraft besonderer Art sei, deren Wesen eben so wenig ergründet werden kann, wie das der Schwere.

Wir gehören sicherlich nicht zu denen, die sich eigensinnig dagegen sträuben die verschiedenen Erscheinungen einer bestimmten Klasse von Kräften unterzuordnen: allein, so lange diese Kräfte sich noch in den Schleier des Geheimnisses hüllen, scheint es uns mindestens ebenso geeignet zu sein an ihrer Stelle die Vorstellungen der Fluida beizubehalten, welche, so hypothetisch sie auch sind, wenigstens den Vortheil gewähren, dass sie dem Bedürfnisse nach grösserer Verständlichkeit und Einfachheit in der Zusammenstellung der Thatsachen besser genügen. Da die Theorie der Polaritäten in neuerer Zeit wieder gewichtige Vertheidiger gefunden hat, so ist es nöthig sie genauer, als in der früheren Ausgabe, zu besprechen und ihre Grenzen bestimmter festzustellen.

Noch eine allgemeine Bemerkung wollen wir uns hier erlauben, deren ausführlichere Besprechung wir uns für das Werk selbst an geeigneter Stelle aufsparen. Wenn Manche behaupten, dass die Bewegungen des Aethers nur auf die Schwingungen des Lichtes beschränkt seien, und dass jenes Mittel auf andere Erscheinungen und Wirkungen nicht reagire, so ist uns von jeher diese Vorstellung als widersinnig und der Analogie anderer Erscheinungen, die wir in allen Körpern vorgehen sehen, widersprechend erschienen. Man würde damit behaupten, dass es ein Mittel gäbe, das durch keine mechanische Thätigkeit so weit umgeformt werden könne, dass die Grenze seiner Elasticität überschritten würde, und das nicht im Stande wäre, andere Bewegungen auszuführen, als solche, deren Werth nur eine unendlich kleine Grösse ist. Ein solches Zugeständniss scheint unstatthaft, und wir werden sehen, dass es nur nöthig ist dem Aether

Bewegungen von endlichem Werthe zuzuschreiben, um auch die elektrischen und magnetischen Erscheinungen zu erklären.

Ein anderer Punkt aus der Theorie der Naturerscheinungen ist in letzter Zeit öfters Gegenstand der Discussion gewesen: lässt sich die Materie getrennt von der Kraft denken? Streng genommen gehört dieser Gegenstand in das Bereich der Metaphysik, und wir haben eigentlich keine Veranlassung in diesem Werke auf ihn einzugehen; da er aber von einigen herbeigezogen worden ist, um mehrere sehr klare Dinge zu verwirren, so wollen wir auch über ihn ein paar Worte sagen.

Dass die Materie nicht ohne eine gewisse Kraft im weitesten Sinne dieses Wortes gedacht werden kann, ist unzweifelhaft: denn da der Grundbegriff der Materie wenigstens die Undurchdringlichkeit und den Widerstand, den man als Trägheit bezeichnet, in sich schliesst, so können diese Eigenschaften nicht mit einem Punkte des Raumes (den wir dann als mit Materie erfüllt bezeichnen) verknüpft sein, ohne dass dieser Punkt eine gewisse Kraft besitzt; und in diesem weiten Sinne genommen ist die Kraft von der Materie unzertrennlich.

Für die physikalischen Kräfte aber, die wir zu untersuchen haben, brauchen wir nicht zu jenen Grundvorstellungen aufzusteigen: wir nehmen das Wesen, das Materie heisst und aus dem die Körper bestehen, so wie es die Erfahrung uns darbietet, und unter Kraft verstehen wir nur die Fähigkeit, gewisse äussere Wirkungen, wie Erwärmung, Erleuchtung, Anziehung, Abstossung u. s. w., hervorzubringen. Ueberhaupt ist unter Kraft die Fähigkeit eine Arbeit zu leisten zu verstehen, und unsere Aufgabe ist es zu untersuchen, wie sich die ebengenannten Wirkungen auf einfache mechanische Erscheinungen, wie wir sie bei endlichen und wägbaren Massen kennen, zurückführen lassen; d. h. wir müssen fragen, ob sie durch Schwingungen, Druck oder Ausfluss u. dergl. bewirkt werden. Daher wird uns die metaphysische Frage gar nicht berühren, und sollte Jemand unser Werk für unvollständig halten, weil es über diese Frage hinweggeht, so ist er im Irrthum: denn wir wollen ein physikalisches, und nicht ein metaphysisches Werk schreiben; und wenn es uns auch begegnet ist, dass wir hin und wieder ein Wort über diesen Gegenstand gesagt haben, so ist dies nur zufällig geschehen, da es sehr schwer hält, die metaphysische Verallgemeinerung von der physikalischen Specialisirung zu trennen.

Aber die Frage ist von vielen in ganz anderem Sinne aufgefasst worden: dieselben haben angenommen, dass die Materie aus innerer Machtvollkommenheit activ und mit eigenthümlicher Kraft begabt sei; und diese Activität oder Kraft, von welcher sie immer sprechen ohne sie zu definiren, soll nach ihnen so eng an der Materie haften, dass sie nicht von ihr getrennt werden kann; damit vermengen sie Begriffe, welche wohl auseinander zu halten sind. So glauben z. B. manche, dass die Schwerkraft eine Eigenschaft der materiellen Atome sei, die eben so unveränderlich ist, wie die chemische Thätigkeit, die sich von den Atomen absolut nicht trennen lässt ohne die Existenz derselben zu zerstören: sie sagen, dass ohne diese Eigenschaft ein Atom nicht mehr Atom bleiben könne, ebensowenig wie der Sauerstoff ohne seine besonderen Eigenthümlichkeiten Sauerstoff sein würde.

Nach unserer Meinung ist dieser Vergleich nicht richtig und führt zu Irrthümern. Man kann den Sauerstoff nicht seiner Eigenschaften berauben, ohne dass er aufhört Sauerstoff zu sein, das ist richtig in demselben Sinne, wie man die Buchstaben dieser Seite nicht unter einander vertauschen darf, ohne dass sie aufhört dieselbe Seite dieses Buches zu sein: aber sie können trotzdem als einzelne Buchstaben fortbestehen, oder auch in neuer Zusammensetzung andere Gedanken ausdrücken. Ebenso, wenn der Sauerstoff selbst aus mehreren Atomen besteht (und heut zu Tage glaubt man dies mehr als jemals), so werden diese, wenn sie anders angeordnet sind, zu den übrigen Körpern andere Beziehungen besitzen, aber sie werden noch als Materie fortbestehen und für andere Einwirkungen, wie für die der Schwerkraft, der Wärme u. s. w., empfänglich sein. Die Schwerkraft dagegen ist eine Kraft, ohne welche sich die Materie sehr wohl denken lässt, so dass man sie sogar als die Wirkung einer ausser ihr liegenden Ursache ansehen kann, nämlich eines Druckes durch ein Mittel. Doch auch wenn wir nicht so weit gehen wollen, so lässt sich nicht leugnen, dass sie nur da ihren Sitz hat, wo viele Molecüle mit einander vereinigt sind: gäbe es in der Welt nur ein einziges materielles Atom, so würde dasselbe keine Schwere besitzen, da es nach keinem anderen streben könnte. Zwar könnte man dann sagen, dass dieses Atom potentielle Schwere besitze, da es anziehen oder angezogen werden könnte, sobald nämlich nur andere Atome hinzutreten; allein diese Behauptung setzt gerade das voraus, was hier in Frage kommt, dass nämlich die Schwerkraft

von der Materie untrennbar ist, und dieses müsste doch erst auf einem anderen selbständigen Wege bewiesen werden, was bis jetzt noch nicht geschehen ist.

Da man jetzt in sehr vielen Fällen nachgewiesen hat, dass die Kräfte sich auf Bewegungen zurückführen lassen, oder wenigstens dadurch erklärt werden können, so gehen manche Physiker so weit, dass sie die Bewegung als eine nothwendige Grundeigenschaft der Materie ansehen. Auch hier wird zweierlei vermischt, was wohl von einander zu halten ist, nämlich die Beständigkeit des Gesetzes, dass wir stets experimentell die Materie in Bewegung finden, und die absolute und unabänderliche Nothwendigkeit desselben, so dass wir nach ihrer Meinung uns ein Atom niemals in Ruhe vorstellen dürfen. Das Wiedersinnige einer solchen Hypothese springt sofort in die Augen, wenn man die Anstrengungen sieht, welche die Philosophen vergeblich gemacht haben, um die Gesetze der Bewegung und der Mittheilung derselben a priori zu beweisen. Diese Gesetze sind fest begründet, sind die Grundlage aller unserer Wissenschaft, das steht unerschütterlich fest: aber dies beweist nicht, dass sie vom Urheber der Dinge nicht hätten in anderer Weise bestimmt werden können, und wenn die Erhaltung der Energie, der Kraft und der Bewegungen in ihren verschiedenen Modalitäten ein unabänderliches Gesetz ist, so ist es doch ein freies Gesetz, das auch eben so gut nicht stattfinden könnte.

Damit, dass sich unsere Wissenschaft darauf beschränkt, die zukünftigen Ereignisse aus den Gesetzen, welche man durch die gegenwärtigen gefunden hat, voraus zu bestimmen, wird die Wissenschaft als solche keineswegs vernichtet, wie wan wohl behauptet hat. Zu einer solchen Vorausbestimmung genügt aber die Beständigkeit des Gesetzes, und es kommt wenig darauf an, ob dasselbe durch eine absolute Nothwendigkeit besteht, oder ob es die nothwendige Folge einer freien Bestimmung des Gesetzgebers ist. Damit behaupten wir durchaus nicht, dass die verschiedenen Gesetze ohne nothwendigen Zusammenhang seien, so dass man nicht das eine aus dem andern mit mathematischer Strenge ableiten könnte: ganz im Gegentheil, die unbegrenzte Weisheit des Schöpfers der Dinge hat aus freiem Entschlusse solche Grundgesetze aufgestellt, aus welchen sich die ganze Reihe der Erscheinungen durch berechtigte und vernünftige Entwickelung herleiten lässt. Wäre es anders, so müsste man zugeben, dass die gegenwärtige Ordnung der Dinge die einzig mögliche sei,

und zu dieser Behauptung wäre eine Weisheit erforderlich, die unsere so beschränkte Natur weit übersteigt.

Andere wieder verwechseln das Unwägbare mit der Kraft, oder glauben, dass die Kraft ein für sich bestehendes Wesen sei, welches seiner Grösse nach ebenso absolut unveränderlich sei, wie die Materie. Auch diese Behauptung hat eine physische und eine metaphysische Seite. In letzterer Beziehung wird auch die Summe der Kräfte erhöht werden können durch die erste Ursache aller Dinge, so wie die Menge der Materie nicht absolut unveränderlich sein kann, da die göttliche Kraft immer wieder neue schaffen könnte. Nimmt man das Gegentheil an, so bekennt man sich zu dem entschieden irrigen Principe, dass alles, was ist, durch absolute Nothwendigkeit existirt, oder dass in der Welt nichts weiter besteht, als unvergängliche Materie, welche sich in ewiger und unabänderlicher Bewegung befindet; diese Ideen sind aber genügend von denen als falsch nachgewiesen worden, welche dazu den Beruf haben.

In physikalischer Beziehung ist aber die Vermengung der Begriffe des Unwägbaren und der Kraft ebenfalls durchaus widersinnig: denn wenn wir vom Unwägbaren reden, so meinen wir einen Stoff, welcher durch die Anordnung seiner Atome der Anziehung durch andere Massen nicht unterworfen ist, und das ist doch etwas vom Begriffe einer Kraft durchaus Verschiedenes. Wer freilich annimmt, dass die Schwerkraft von der Materie unzertrennlich ist, der wird, wenn er die Unmöglichkeit sieht gewisse Thatsachen ohne ein E t w a s, das den Raum erfüllt, zu erklären und wenn er gleichwohl die Schwere der Körper nicht aufgeben will, dieses Etwas unter die Kräfte versetzen, d. h. er wird daraus ein ideales Wesen machen. Aber diese Folgerungen sind nicht nothwendig, wir nehmen sie nicht an und stellen keine Principien auf, aus denen man sie auf logischem Wege ableiten kann. Für uns ist der Aether ein vollständig materielles Wesen, das nur der Schwerkraft nicht unterworfen ist, vielleicht weil es selbst die Ursache dafür ist.

Wenn in der Wirklichkeit die Materie im weitesten Sinne des Wortes nicht ohne Kraft vorkommt, so lässt sich noch weniger die Kraft von der Materie trennen. Beschränken wir uns auf die Fälle, die wir in diesem Buche besprechen und die wir alle auf Bewegungen zurückführen, so ist es klar, dass es keine Bewegung geben kann ohne ein Etwas, das sich bewegt, und so kann es keine Kraft geben ohne Materie, und wer die Kraft als ein Wesen für sich ansieht,

den verstehen wir nicht, er müsste denn die göttliche Urkraft meinen. Daraus, dass Kraft und Materie immer vereint vorkommen, folgt aber nicht, dass wir nicht durch Abstraction von der einen oder anderen so sprechen dürften, als wären sie in unserer Vorstellung getrennt, so wie ja auch der Mathematiker von Linien und Flächen spricht, die sich doch auch nicht von den Körpern ablösen lassen. Eine wirkliche Trennung beider nehmen auch wir nicht an, noch beabsichtigen wir eine Definition der innersten Constitution der Materie zu geben (wie einige erwartet hatten): sondern die Aufgabe, die wir uns stellen, besteht darin, mit Hilfe der Bewegungsgesetze, die man an grossen und wahrnehmbaren Massen beobachtet hat, die Erscheinungen zu erklären, welche entweder wegen der Kleinheit der Massen, oder wegen des Mittels, in dem sie vorgehen, sich unserer Beobachtung entziehen. Wir wiederholen nochmals: wir halten uns im Bereich der physischen Erscheinungen und beschäftigen uns nicht mit metaphysischen Speculationen. Zwischen der Reihe der Gegenstände, welche wir untersuchen, und der innersten Constitution der Materie ist eine Kluft, welche man bis jetzt noch nicht überschreiten konnte. Um einen schon gebrauchten Vergleich anzuführen, der sich aber noch viel weiter ausführen lässt, als Boscovich, der ihn zuerst anwendete, gethan hat, können wir sagen, dass sich die Körper mit Häusern vergleichen lassen, welche mit Büchern erfüllte Bibliotheken enthalten, die mit den verschiedensten Buchstaben gedruckt sind und die verschiedensten Gegenstände behandeln; die Buchstaben selbst aber bestehen aus so kleinen Punkten, dass selbst die stärksten Mikroskope dieselben nicht von einander trennen können. Die Wissenschaft unserer Tage ist noch nicht so weit, diese Bücher lesen zu können, sie muss sich noch damit begnügen, dass sie einen Band von dem andern unterscheidet, noch viel weniger ist sie im Stande, die einzelnen Buchstaben zu unterscheiden, und noch lange Zeit wird vergehen, ehe sie hoffen darf, die Punkte von einander zu trennen, aus denen letztere gebildet sind.

Ich will nichts von denen sagen, welche glauben, dass die Materie mit solcher Kraft begabt sei, dass sie aus eigener Macht organische, mit Sinnen begabte, oder gar denkende Wesen hervorbringen könnte. Sie begeben sich auf ein Gebiet, welches nicht das unsrige ist, und ohne irgend einen positiven Beweis für ihre Lehren beizubringen, welche sich auf keine einzige beobachtete Thatsache stützen, treiben sie die Folgerungen aus Prämissen, welche dieselben gar nicht ent-

halten, bis an die äusserste Grenze. Andere wieder verwerfen in eben so irriger Weise die Lehre von der Einheit der Naturkräfte, weil dieselbe nothwendig zum Materialismus führe und diese gefährliche Richtung unterstütze. Wir werden seiner Zeit hierauf antworten: jetzt mag die Erinnerung genügen, dass der menschliche Geist in seiner Thätigkeit von materiellen Organen abhängig ist, dass er sich daher auch nicht von den Gesetzen, welche jenen Theil der menschlichen Natur beherrschen, frei machen, noch an diesen Gesetzen irgend etwas ändern kann: durch diese Organe, die als Werkzeuge dienen, ist er eben so abhängig von den Massen, wie von den Kräften, welche sie beherrschen, und hier ist ein sehr weites Feld, welches sich zwischen die Gebiete der Wissenschaften einschiebt, die sich mit dem stofflichen und mit dem geistigen Leben beschäftigten.

Als wir ähnliche Irrthümer bei vielen, übrigens sehr achtenswerthen Zeitgenossen vorfanden und uns fragten, woher dieselben stammten, so drängte sich uns die Ueberzeugung auf, dass ein grosser Theil der Schwierigkeiten, welche den Weg bei den Untersuchungen über diesen Stoff versperren, von der Ungenauigkeit herrührt, welche noch in der wissenschaftlichen Nomenclatur herrscht. Fortwährend sind wir gezwungen das Wort Kraft anzuwenden, um die Ursache von Erscheinungen zu bezeichnen, die von einander sehr verschieden sind und aus den verschiedensten Ursachen entspringen; es giebt kaum ein Wort, das eine grössere Anzahl von Bedeutungen hat und so zu Missbrauch und Irrthum verleitet. Daher wird es gut sein, wenn wir erst den Gebrauch und die Bedeutung dieses Wortes untersuchen, ehe wir auf unsern eigentlichen Gegenstand eingehen.

§. 2. Allgemeine Grundsätze über die Unterscheidung der Kräfte.

In der Mechanik versteht man unter Kraft die Fähigkeit eine Arbeit zu verrichten: wir selbst erhalten eine Vorstellung von diesem Begriffe durch die Empfindung, die wir haben, wenn wir einen Körper ausser uns oder auch die Glieder unseres eigenen Körpers bewegen, welche Bewegungen als geleistete Arbeiten zu betrachten sind. Wenn uns nun die Erfahrung lehrt, dass jeder Bewegung eine Anstrengung von unserer oder anderer Seite vorausgeht, so ist es natürlich, dass wir diesen Begriff weiter ausdehnen und sagen, dass jede Bewegung durch eine Kraft verursacht wird, welche einen analogen Ursprung

hat, wie die Anstrengung, die wir selbst behufs der Fortbewegung eines Körpers machen müssen. Bekanntlich haben die alten Philosophen diesen Gedankengang so weit ausgedehnt, dass sie glaubten, die Himmelskörper würden durch geistige Wesen in ihren Bahnen erhalten.

Die Bewegungen, welche wir in Wirklichkeit vor sich gehen sehen, finden entweder im leeren Raume in bestimmten Bahnen statt, ohne dass sich (wenigstens scheinbar) ein Hinderniss entgegen stellt; oder sie haben Widerstände, die mehr oder weniger schwer zu besiegen sind, zu überwinden. Ein Beispiel für die ersten sind die Bewegungen der Planeten und der Geschosse im leeren Raume. Dieselben werden sehr häufig durch Ursachen erregt, die nur ganz kurze Zeit währen und die man daher momentane Kräfte nennt: ein Ausdruck, der nicht exact ist, denn eine endliche Bewegung kann nicht in einem Augenblick, d. h. in verschwindend kleiner Zeit, entstehen, sondern es ist dazu immer eine merkliche, wenn auch noch so kurze Zeit erforderlich; die Bewegung muss in der That durch allmähliche Steigerung von der Geschwindigkeit Null bis zu ihrem definitiven Werthe anwachsen, dessen äussserste Grenze die Geschwindigkeit des stossenden Körpers ist. Gleichwohl wollen wir keine Schwierigkeiten machen dieses Wort zu gebrauchen, wenn wir es nur in seinem wahren Sinne verstehen: wir können es auch gar nicht entbehren, da noch kein besseres an seine Stelle gesetzt worden ist. In diesem Falle lässt die Kraft oder die bewegende Ursache in Wirklichkeit den bewegten Körper los, der nun seinen Weg in gerader Linie und mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortsetzt: er ist also nunmehr frei geworden und der Ursache, welche ihm die Bewegung ertheilte, nicht mehr unterworfen. Daher ist es z. B. streng genommen ungenau zu sagen, dass die Himmelskörper durch zwei Kräfte, nämlich eine momentane Kraft und die allgemeine Massenanziehung, bewegt werden. Die erstere hat zu Anfang der Bewegung eine Zeit lang bestanden, im weiteren Verlauf aber besteht sie nicht mehr: es bleibt von ihr nur noch die Wirkung, nämlich der Impuls, welcher sich nur durch die Trägheit der Materie in ihr erhält.

Mit Unrecht ist die Trägheit als eine Kraft angesehen worden, während sie doch nur die Unfähigkeit der Materie ist den Zustand, in welchem sie sich einmal befindet, aus eigener Macht zu ändern. Ist ein Körper einmal in Ruhe, so wird er immer in Ruhe bleiben,

es müsste ihn denn eine äussere Ursache in Bewegung setzen; ist er aber in Bewegung, so wird er seinen Weg immer fortsetzen, bis ihn eine andere Ursache aufhält.

Man kann zu dieser Ueberlegung auch durch folgende metaphysische Betrachtungen kommen: da die Bewegung nichts weiter ist, als die auf einander folgende Anwesenheit eines Körpers an den verschiedenen Punkten des Raumes, welcher seiner Natur nach überall gleichartig ist, wenn nicht andere bestimmende Ursachen in's Spiel kommen, so ist kein Grund vorhanden, dass ein Körper eher an dem einen, als an dem anderen Punkte des Raumes sich aufhalte; daher wird er nicht darnach streben, sich hierhin oder dorthin zu begeben und den oder jenen Punkt aufzusuchen, er wird also träg sein.

Aber diejenigen, welche die Trägheit eine Kraft nennen, wie es die bedeutendsten Physiker thun, haben dabei einen andern Gesichtspunkt im Auge. Soll ein Körper in Bewegung versetzt oder aufgehalten werden, so ist ein gewisser Widerstand, den man Trägheit genannt hat, zu überwinden; und deshalb bezeichnet man die Trägheit als eine Kraft. Da diese Thatsache richtig ist, so kann man den Sprachgebrauch in diesem Sinne beibehalten. Um einen Körper in Bewegung zu versetzen, ist selbst dann, wenn durchaus kein Hinderniss vorhanden ist, eine Kraft nöthig: liegt eine Kugel auf einer Fläche, die mit der grössten Sorgfalt polirt ist, so setzt sie dennoch, vermöge ihrer Trägheit, einen Widerstand entgegen, wenn sie bewegt werden soll: denn da sie sich nicht aus eigener Macht in Bewegung versetzen kann, so ist eine äussere Ursache dazu nöthig, um sie zu bewegen. Daraus folgt aber nicht, dass dieser Widerstand des Körpers als eine wirkliche active Kraft angesehen werden darf: er hat eben einfach darin seinen Grund, dass nach dem Grundprincip eine Anstrengung von Seiten des bewegenden Körpers nothwendig ist, um die Bewegung zu bewirken, und dass diese Anstrengung so lange anhält, bis die Geschwindigkeit des getriebenen Körpers der des treibenden gleich ist. Sind sie an diesem Punkte angelangt, so werden sie in Gemeinschaft weiter gehen, wenn sie nicht elastisch sind; sind sie dagegen elastisch, so wird der treibende, je nach dem Grade seiner Elasticität, mehr oder weniger weit zurückbleiben, der andere aber wird sich von ihm trennen und schneller fortschreiten. Man hat also die wahre Trägheit mit der Erscheinung verwechselt, welche man genauer als Rückwirkung bezeichnen könnte,

die ihren Einfluss auf den bewegenden Körper ausübt und von dem getroffenen Körper, vermöge seiner Trägheit, erzeugt wird; durch diese Rückwirkung verliert der erste Körper so viel an Bewegung, als der zweite gewinnt, was mit dem Gesetze übereinstimmt, welches Newton in folgende Worte gefasst hat: „Jeder Wirkung entspricht eine gleiche und entgegengesetzt gerichtete Rückwirkung."

Die zweite Art der Bewegung ist die, bei welcher die in Bewegung gesetzten Körper nicht frei sind, sondern mehr oder weniger wahrnehmbare Hindernisse zu überwinden haben. Hierher gehört z. B. die Bewegung eines Wagens auf gewöhnlichem Pflaster, wobei die Unebenheiten des Bodens beständig überwunden werden müssen; eine momentane Kraft wird durch diesen Widerstand sehr bald vernichtet werden, daher wird man eine beständig wirkende Kraft anwenden müssen, welche die zerstörte Kraft immer wieder ersetzt. Diese Art Kräfte verrichten das, was man auch im gewöhnlichen Leben als eine Arbeit bezeichnet: in der Wissenschaft muss man aber den Sinn dieses Wortes auf alle diejenigen Operationen ausdehnen, bei welchen eine Kraft einen Körper durch einen gewissen Raum bewegt und dabei einen Widerstand überwindet. Jeder kennt die mechanische Arbeit einer Säge, welche den Zusammenhang eines festen Körpers überwindet; eines Hobels, welcher das Holz glättet; eines Schiffes, das stromaufwärts gezogen wird und unzählige andere Arbeiten, bei denen es immer leicht ist, den von den bewegten Körpern durchlaufenen Weg und den überwundenen Widerstand wahrzunehmen.

Allein nicht immer sind die Hindernisse so augenfällig, wie in den vorstehenden Beispielen; oft haben wir unsichtbare Hindernisse zu überwinden, die aber deshalb nicht weniger wirksam sind: so wenn wir beim Aufheben einer Last die Kraft der Schwere besiegen. Wegen der Unsichtbarkeit des Hindernisses lässt sich diese Arbeit mit der vergleichen, welche ein Mann leistet, der den Kolben einer Luftpumpe bewegt, um einen leeren Raum herzustellen: derselbe fühlt einen Widerstand, weil er nicht blos den Kolben aufheben muss, sondern auch das Gewicht der Luftsäule, die auf der äusseren Fläche lastet. Diese Luftsäule ist unsichtbar, deshalb aber nicht weniger wirksam, denn sie leistet einen sehr bedeutenden Widerstand, der zu überwinden ist. In gleicher Weise ist eine Kraftanstrengung nöthig beim Heben irgend eines andern Gewichtes, d. h. wir müssen eine Arbeit leisten, um die Schwerkraft zu überwinden. Zwar

wissen wir vor der Hand noch nicht, worin das Wesen dieser Kraft besteht, wir wissen nur, dass sie so wirkt, als ob alle Körper von der Erde angezogen, oder nach ihr hin mit einer gewissen Gewalt gedrückt würden, und dass dieser Druck nicht für alle, selbst bei gleichem Volumen, von gleicher Grösse ist.

Da diese Arbeit in allen Zeiten und an allen Orten dieselbe ist, so kann sie als Mass dienen, um die Grösse der anderen Arbeiten in einer Weise, die wir bald kennen lernen werden, zu bestimmen.

Die Grösse dieser Arbeit führt uns auf einen neuen Begriff; da nämlich die Anstrengung, die erforderlich ist um gleiche Volumina verschiedener Substanzen aufzuheben, nicht für alle Körper gleich ist, da man z. B. für das Blei eine grössere Anstrengung anwenden muss als für das Wasser u. s. w., so gibt uns der Vergleich dieser Anstrengungen den Begriff des Gewichtes, aus dem sich der Begriff der in einem Körper vereinigten Menge der Materie oder der M a s s e und weiter der relativen D i c h t i g k e i t der Körper ableiten lässt.

Die Begriffe der Masse und des Gewichtes sind vielfach verwechselt worden und erst seit Galilei's Zeiten wurden sie scharf auseinander gehalten. Vor ihm glaubte man, dass die Schwerkraft für die verschiedenen Körper verschiedene Werthe habe, dass es so zu sagen so viele verschiedene Werthe der Schwerkraft gebe, als Stoffe existirten, die bei gleichem Volumen verschiedenes Gewicht besitzen. Man glaubte dies annehmen zu dürfen, da man sah, dass die schwereren Körper schneller auf den Boden herabfielen. Galilei zeigte das Gegentheil und bewies, dass die Schwerkraft für alle Körper dieselbe ist, indem sie bei allen dieselbe Vermehrung der Geschwindigkeit in einer bestimmten Zeit bewirkt, und dass bei gleichem Volumen die Gewichte nur deswegen verschieden sind, weil die Masse und Dichtigkeit eine verschiedene ist.

Wollen wir uns von allen diesen Dingen eine genaue Vorstellung machen, so müssen wir jetzt die Grösse derjenigen Kräfte bestimmen lernen, welche wir als momentane Kräfte bezeichnet haben.

Wir können uns immer zwei Kräfte dieser Art vorstellen, welche im Stande sind zwei Körpern, A und B, die in allen Dingen gleich sind, dieselbe Geschwindigkeit mitzutheilen: diese Kräfte werden wir g l e i c h e Kräfte nennen. Stellen wir uns aber eine Kraft vor, die, wenn sie auf den einen der beiden Körper wirkt, ihn in dop-

pelte, dreifache Geschwindigkeit u. s. w. versetzt, so werden wir sie doppelt, dreimal u. s. w. so gross nennen, als die andere: mithin sind die Kräfte den Geschwindigkeiten, die sie hervorrufen können, proportional.

Denken wir uns ferner, dass die Kraft, welche wir als doppelt, dreimal u. s. w. so gross erkannt haben, auf einen dritten Körper C wirke, der eine solche Grösse besitze, dass die Kraft, trotzdem dass sie doppelt, dreimal so gross ist, ihm nur dieselbe Geschwindigkeit ertheilt, als die erste Kraft dem Körper A, so werden wir sagen müssen, dass der Körper C mehr Materie in sich enthält, dass seine Masse genau doppelt, dreimal u. s. w. so gross ist, als die Masse des Körpers A. Wir können allgemein sagen, dass die Masse eines Körpers das Vielfache der Masse eines andern ist, wenn die Kraft, die nöthig ist, um ihn in gleiche Geschwindigkeit wie den andern zu versetzen, das Vielfache der Kraft ist, die den andern in Bewegung gesetzt hat. Sind daher die Geschwindigkeiten gleich, so sind die Kräfte den Massen proportional. Daher stehen die Kräfte im zusammengesetzten Verhältnisse der Massen und der Geschwindigkeiten. Dieses Product aus Masse und Geschwindigkeit mv, welches in der Mechanik Bewegungsgrösse heisst, giebt also ein Mass für die Kräfte (Newton). Hierdurch wird augenscheinlich unter der Kraft der Impuls verstanden, der den Körper antreibt, denn diese Kräfte hören sofort auf thätig zu sein, sobald sie ihre Wirkung hervorgebracht haben, und lassen den Körper nur vermöge seiner Trägheit den Raum weiter durchlaufen.

Doch auch der Begriff der Masse muss jetzt etwas genauer festgestellt werden. Gewöhnlich sagt man, dass man darunter die Menge der Materie versteht, welche ein Körper enthält: aber wie soll man diese Menge bestimmen? Kann man vielleicht die Molecüle zählen. Daher haben wir kein anderes Mittel um die Masse eines Körpers zu messen, als dass wir sie aus seiner Trägheit ableiten; wir bestimmen die Geschwindigkeit, welche er erlangt, wenn er durch eine betimmte Kraft in Bewegung gesetzt wird: und damit die verschiedenen Körper in gleiche Geschwindigkeit versetzt werden, wenden wir Kräfte an, die den Massen selbst proportional sind. Wenn wir nun sehen, dass verschiedene Massen gleiche Geschwindigkeit annehmen wenn sie Kräften von bekannter Grösse unterworfen sind, so können wir die Verhältnisse dieser Kräfte zugleich als Masse für die Verhältnisse der Massen ansehen.

Auf diese Weise haben wir das Verhältniss der Massen, ohne dass wir ihren absoluten Werth und das eigentliche Wesen der Masse kennen. Somit behalten wir in der Berechnung der Erscheinungen als constanten Coëfficienten noch die Einheit der Masse, d. h. diejenige Masse bei, welche durch die Einheit der Kraft in die Einheit der Geschwindigkeit versetzt wird, über deren wahren Werth wir vor der Hand noch nicht ins Klare kommen können.

Wollten wir die Massen der Körper durch einen solchen empirischen Process bestimmen, indem wir Stosskräfte suchen, welche den verschiedenen Körpern gleiche Geschwindigkeiten ertheilen, so würde dies ein sehr langer und unsicherer Weg sein: glücklicher Weise aber können wir zu diesem Zwecke die Schwerkraft gebrauchen. Schon durch die Versuche Galilei's, und später durch die Fallversuche im luftleeren Raum, und endlich durch die Pendelschwingungen ist der Beweis geführt, dass die irdische Schwerkraft alle Körper in dieselbe Geschwindigkeit versetzt, welches auch die Menge der Materie sei, die in irgend welchem Volumen enthalten ist: die Intensität der Schwerkraft ist also der bewegten Masse proportional. Als Mass für diese Geschwindigkeit wählt man natürlich die, welche ein frei fallender Körper nach Verlauf der Zeiteinheit, also der Secunde, erlangt hat. Dieselbe beträgt so viel, dass, wenn der Körper seinen Weg weiter fortsetzte, ohne dass sich seine Geschwindigkeit noch steigert, er aus mathematischen Gründen in jeder folgenden Secunde mit gleichförmiger Geschwindigkeit einen Weg zurücklegen würde, der doppelt so gross ist, als der in der ersten Secunde durchlaufene. Durch die Verschiedenheit dieser Geschwindigkeit wird die Schwerkraft auf den verschiedenen Himmelskörpern bemessen: so ist dieselbe auf der Sonne 28,4 Mal so gross, als auf der Erde, wo sie 9^m, 80604 beträgt, für welche Grösse man gewöhnlich den Buchstaben g anwendet. Die Anziehung der Erde wirkt also auf einen Körper mit der Masse m gleich einer Kraft von der Grösse mg, welche man sein Gewicht nennt, man hat also das Gewicht $P = mg$, und kann somit das Verhältniss der Massen durch das Verhältniss der Gewichte bestimmen. Wir sagen das Verhältniss und nicht die absoluten Werthe, für welche uns die Bestimmung fehlt, da wir weder über das Wesen der Schwerkraft, noch über das der Materie im Klaren sind; für die praktische Anwendung der Wissenschaft ist aber auch die Kenntniss jener Verhältnisse ausreichend. Es könnte auf den ersten Blick scheinen, als ob das Gewicht durch eine Gechwindigkeit (g) dargestellt

würde: dem ist aber nicht so, denn der Begriff des Gewichtes setzt sich in Wirklichkeit aus zwei Factoren zusammen. Der erste Factor im Producte mg bedeutet die Masse und diese bleibt ungeändert, wenn der Körper auch auf einen andern Planeten getragen würde: der Factor g aber würde sich in diesem Falle ändern, wie schon erwähnt.

So haben wir nach Analogie der Bewegungsgrösse das Gewicht als die Summe aller Impulse, die in einer gewissen Zeit durch eine beständig wirkende Kraft ausgeübt werden, dargestellt. Die alten Mathematiker nannten die Grösse g beschleunigende Kraft, jetzt zieht man mit Recht vor, sie Acceleration oder Beschleunigung zu nennen. Daher ist das Gewicht das Product der Masse mit der Beschleunigung, welche die treibende Kraft in einer Zeitsecunde dem Körper mittheilt. Die Vorstellung von der Dichtigkeit der Materie erhalten wir dadurch, dass wir sehen, dass in dasselbe Volumen sehr verschiedene Mengen Stoffes zusammengedrängt sein können, dass also derselbe Raum eine grössere oder geringere Masse enthalten kann.

Weiter giebt uns das Gewicht eine Vorstellung von einer anderen Art von Kräften, welche wir bisher noch nicht betrachtet haben, nämlich von dem Drucke, den ein Körper auf ein Hinderniss ausübt, wenn er unbeweglich auf seiner Stütze ruht. In der That ist dies eine Thätigkeit, die sich von der, welche Bewegung erzeugt, vollständig unterscheidet und, so lange sie eben ein Druck bleibt, sich mit einer Bewegung nicht vergleichen lässt. Entfernt man aber das Hinderniss, welches den Körper aufhielt, so setzt sich derselbe mit wachsender Geschwindigkeit in Bewegung und kann, wenn er auf einen andern trifft, denselben ebenfalls in Bewegung setzen, oder durch Ueberwinden eines Widerstandes eine Arbeit verrichten: so kann er z. B. eine Münze prägen, indem er bis zu einer gewissen Tiefe den Widerstand des Metalles, der aus seiner Cohäsion entspringt, überwindet, oder er kann sich bis zu einer gewissen Tiefe in die Erde einbohren, bevor die Festigkeit des Bodens ihn aufhält.

Indem wir diese sehr bekannten Thatsachen erwähnten, haben wir uns absichtlich der Ausdrücke des täglichen Lebens bedient, die uns, bei aller ihrer Unbestimmtheit und Zweideutigkeit, doch den Weg zur Eintheilung der Kräfte bahnen und uns zu einer genaueren wissenschaftlichen Namengebung veranlassen sollen.

Wir sehen also, dass es zwei sehr verschiedene Arten von Er-

scheinungen giebt, die man durch den gemeinsamen Namen der Kräfte mit einander vermengt, nämlich die Druckkräfte und die durch Geschwindigkeit belebten Massen.

Von der ersteren Art kommen in der Physik, ausser dem Drucke durch das Gewicht, noch viele andere Beispiele vor, wie der Druck verdichteter Gase, erhitzter Dämpfe, durch Wärme ausgedehnter fester Körper, gespannter Stahlfedern u. s. w. Alle diese Druckkräfte bewirken keine Bewegung, noch verrichten sie Arbeit, so lange sie auf einen genügenden Widerstand stossen: sie können aber für irgend welchen Nutzeffect als Quellen der Kraft dienen, die disponibel wird, sobald die Hindernisse hinweggeräumt sind, oder sobald die Spannung die Grösse des Widerstandes übersteigt.

Die neueren Physiker sind über den übereinstimmenden Gebrauch der Ausdrücke für die beiden so verschiedenen Arten von Kräften noch nicht unter sich einig: so nennen z. B. die Engländer gern nach Rankine jede mechanische Kraft eine Energie; so lange dieselbe sich nur als Druck äussert, heisst sie potentielle Energie, führt sie aber nach Hinwegräumung der Hindernisse Bewegung herbei, so wird sie actuelle oder kinetische Energie genannt. Dagegen bemerkt der Graf St. Robert ganz richtig, dass man nach dem alltäglichen Sprachgebrauche mit dem Worte Energie eher den Begriff der grösseren oder geringeren Thätigkeit verbindet, dass man dabei eher an die wirkliche Kraftäusserung, als an die blosse Möglichkeit der Wirkung denkt; daher schlägt er vor, den Namen Kraft einfach für die Druckkräfte beizubehalten, die Kräfte aber, die Bewegung herbeiführen, als Potenzen zu bezeichnen. Bei aller Hochachtung vor solch einer wissenschaftlichen Autorität, möchten wir aber doch bezweifeln, dass sich die Physiker und Mechaniker daran gewöhnen würden, gerade diese beiden Wörter in aller wissenschaftlichen Strenge auseinander zu halten, da man nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche leicht geneigt sein dürfte dieselben für gleichbedeutend zu halten. Dazu kommt noch die Schwierigkeit, dass das eine derselben, nämlich das Wort Kraft, bisher gewöhnlich für den allgemeineren Begriff angewendet wurde, und nun mit einem Male nur im speciellen Sinne des Druckes gebraucht werden soll. Daher schlagen wir vor, für beide Klassen den Namen Kraft beizubehalten, die Unterabtheilungen aber durch die Ausdrücke Druckkräfte und Potenzen zu unterscheiden, so dass die Druckkräfte den potentiellen, die Potenzen den actuellen Energien entsprechen.

Die Druckkräfte, Spannungen u. s. w. wurden bisher mit Recht als statische Kräfte bezeichnet, indem sie in Wirklichkeit keine Bewegung hervorbringen, sondern nur hervorbringen können. Sie lassen sich unter einander vergleichen und ihre Grösse wird übereinstimmend nach der Zahl der Kilogramme bestimmt, mit welcher sie auf einer Fläche von bestimmter Grösse lasten, so dass also die Masseinheit von der Schwerkraft hergeleitet wird. So wird der Druck eines Gases nach der Zahl der Kilogramme berechnet, mit der man die Einheit der Fläche des beweglichen Theiles der Wand (des Ventiles) belasten muss, damit das Gas nicht ausströmt. Zu der Belastung mit Gewichten kommt häufig noch der Druck von einer oder mehreren Atmosphären: allein man weiss ja, dass jede Atmosphäre gleich dem Gewicht einer Wassersäule von ungefähr 10^{m} oder einer Quecksilbersäule von 760^{mm} Höhe drückt, was auf den Quadrat-Centimeter der Oberfläche etwas mehr als ein Kilogramm, auf den Quadratmeter genauer 10 333 Kilogramm beträgt.

Ueberwindet der Druck den Widerstand des Hindernisses, so entsteht Bewegung; es wird die Potenz dann immer während einer gewissen Zeit ununterbrochen wirken, und diese Zeit darf niemals, auch wenn sie noch so klein ist, gleich Null gesetzt werden. Während dieser Zeit bewirken die Potenzen eine Steigerung der Geschwindigkeit in dem bewegten Körper, wenn er frei ist, auf alle Fälle aber verrichten sie eine Arbeit, wenn Hindernisse zu überwinden sind. Wie diese Arbeit zu berechnen ist, davon müssen wir jetzt sprechen, und auch dafür gibt uns die Schwerkraft ein bequemes Mittel.

Es ist bekannt, dass ein Körper, der unter dem Einflusse der Potenz der Schwere freigelassen wird, in der Zeit t eine Geschwindigkeit erlangt, die mit der Zeit und dem durchlaufenen Raume s in einem Zusammenhange steht, welcher durch folgende Formeln ausgedrückt wird:

$$v = gt; \; s = {}^1/_2\, gt^2; \; v^2 = 2\, gs.$$

Wird die Geschwindigkeit v, welche der Körper an dem tiefsten Punkte seiner Bahn erlangt hat, ihm in entgegengesetzter Richtung wieder ertheilt, so ist sie gerade genügend, um ihn wieder bis zu derselben Höhe hinaufzutreiben, aus welcher er herabgefallen war, wie dies z. B. stattfinden würde, wenn ein vollkommen elastischer Körper auf eine eben solche, ruhende Ebene senkrecht herabfiele. Beim Fallen verrichtet die Schwerkraft eine wirkliche Arbeit, welche

darin besteht, dass sie die Trägheit des Körpers überwindet und ihn in eine gewisse Geschwindigkeit versetzt: wird nun die Richtung umgekehrt, so kann sich der Körper wieder bis zur ursprünglichen Höhe erheben. Der Effect, den die Schwerkraft zuerst beim herabfallenden Körper hervorbringt, ist also eben so gross, als die Arbeit, die nöthig ist, um den Körper bis zu der Höhe zu heben, aus der er herabfiel. Hebt man aber ein Gewicht P auf die Höhe s, überwindet man also die Schwerkraft längs eines Weges s, so verrichtet man nach der oben gegebenen Definition eine Arbeit, deren Grösse durch $L = Ps$ gemessen wird. Da aber $s = \frac{v^2}{2g}$ und $P = mg$ ist, so hat man

$$L = Ps = \tfrac{1}{2}\, mv^2;$$

es lässt sich diese Arbeit, die der Körper von der Masse m leisten kann, wenn er die Geschwindigkeit v erlangt hat, berechnen durch das halbe Product aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit. Mit geringen Aenderungen lässt sich dieses Resultat auch unter Annahme einer andern beständig wirkenden Kraft ableiten [1]).

Das Product mv^2 wird in der Mechanik gewöhnlich lebendige Kraft genannt, und seine Hälfte gibt ein in Zahlen ausdrückbares Mass für die Arbeit, die ein Körper, der einmal in Bewegung ist, vermöge seiner Geschwindigkeit noch verrichten kann. Diese Arbeit wird durch die lebendige Kraft gemessen, ist aber nicht mit ihr identisch, weshalb manche vorziehen, sie mit einem besondern Namen, nämlich als disponible Arbeit, zu bezeichnen. Diese Grösse, welche man nach der oben angegebenen Unterscheidung vielleicht besser als lebendige Potenz bezeichnen müsste,

[1]) Ist die Geschwindigkeit, welche der bewegte Körper unter dem Einflusse der Kraft F in der Zeiteinheit annimmt, G, so wird sich seine Geschwindigkeit im Zeitelemente dt um die Grösse $dv = Gdt$ steigern. Da nun die Kraft F durch mG gemessen wird, so hat man $Fdt = mdv$. Die Geschwindigkeit v aber lässt sich in jedem Momente $= \frac{ds}{dt}$ setzen, so dass man schliesslich $Fds = mvdv$ hat. Integrirt man nun für eine bestimmte endliche Zeit, so wird

$$\int Fdt = mv - mv_0; \int Fds = \frac{mv^2 - mv_0^{\,2}}{2};$$

das letztere Integral ist aber der Ausdruck für die Arbeit, welche die Kraft F verrichtet hat, indem sie ihren Angriffspunkt durch den Weg s weiter bewegt hat. Das Element Fdt kann man als einen Impuls bezeichnen. S.

ist für die Beurtheilung der Maschinen und der praktischen Arbeiten von der grössten Bedeutung.

Wir haben gesehen, dass man die Grösse der Impulse oder momentanen Kräfte durch das Product aus Masse und Geschwindigkeit misst: nehmen wir daher das Kilogramm, den Meter und die Secunde als Einheiten, so ist die Zahl der Meter, welche eine gegebene Masse in der Secunde durchläuft, das Mass für den Stoss. Für die Arbeit ist aber noch ein Element zu berücksichtigen, nämlich der Widerstand, der in einer bestimmten Zeit längs eines gewissen Weges überwunden wird. Da man überall beim Heben einer Last den Widerstand der Schwerkraft überwinden muss, und da dieser Widerstand an allen Punkten der Erde nur um sehr kleine Werthe, die man leicht in Rechnung ziehen kann, differirt, so benutzt man ihn als Normalmass für die Berechnung der Arbeiten; man wählt als Einheit die Arbeit, welche erforderlich ist, um das Gewicht von einem Kilogramm auf die Höhe von einem Meter zu heben, und nennt dieselbe ein Meterkilogramm[1]).

Natürlich muss man bei der Berechnung der Potenzen die Zeit in Rechnung ziehen, in welcher sie eine gewisse Arbeit verrichten, oder man muss bestimmen, wie viel Meterkilogramme sie in einer Secunde leisten, d. h. wie viel Kilogramme sie in dieser Zeit auf die Höhe von einem Meter, oder, was dasselbe ist, auf welche Höhe sie ein Kilegramm heben. Da ein Pferd im Durchschnitt in der Secunde 75 Kilogr. einen Meter hoch heben kann, so bezeichnet man eine Potenz von 75 Meterkilogramm als eine Pferdekraft.

Dass in die Definition des Meterkilogrammes das Element der Zeit nicht mit aufzunehmen ist, sondern nur der überwundene Widerstand (das Gewicht) und der durchlaufene Raum (die Höhe) liegt in der Natur der Sache: wenn z. B. ein Mensch eine Treppe hinaufsteigt, so verrichtet er eine Arbeit von einer bestimmten Menge von Meterkilogrammen, mag er nun dazu eine oder mehrere Minuten gebrauchen; will man dagegen die Leistungen der Maschinen für eine bestimmte Zeit angeben und vergleichen, dann ist es nöthig, die Arbeit zu bestimmen, die sie in einer Secunde verrichten.

[1]) Das Meterkilogramm hat jetzt überall das früher gebräuchliche Fusspfund verdrängt: nur in England rechnet man noch nach letzterem Masse. Da nun $1^m = 3{,}2808$ engl. Fuss und 1 Kilogr. = 2,2045 engl. Pfund ist, so ist 1 Meterkilogramm = 7,2325 engl. Fusspfund. S.

Hier ist der geeignete Platz zu einer wichtigen Bemerkung über die Art der Anwendung der beiden Classen von Kräften, welche man als Druckkräfte und Potenzen unterscheidet. Mit Hilfe eines starren Stabes kann man durch eine ziemlich geringe Druckkraft eine sehr grosse im Gleichgewicht halten, wie dies beim Hebel geschieht, der im Gleichgewicht ist, wenn sich die Gewichte umgekehrt verhalten, wie die Hebelarme. Daraus folgt aber durchaus nicht, dass dasselbe Gesetz auch für Potenzen gilt: denn in Wirklichkeit hält die kleine Druckkraft nur einen Theil der grösseren im Gleichgewicht, während der Rest vermöge der engen physikalischen Verbindung der Theile auf dem Stützpunkte lastet. Geht aber der Gleichgewichtszustand in Bewegung über, so wird der Weg, den die kleine Potenz durchläuft, in demselben Masse grösser, als die Kraft grösser ist, der sie das Gleichgewicht hielt. Mit Recht überlegte sich schon Galilei, dass man bei einer Maschine an dem Ende, an welchem die geringere Kraft angebracht ist, die Arbeit so oft ausführen muss, als die kleinere Kraft in der grösseren enthalten ist. Wenn ein Mensch z. B. mit einem Male 100 Kilogr. tragen kann, so wird er im Stande sein 1000 Kilogr. fortzuschaffen, wenn er dieselben in zehn Theile theilt und den Weg zehn Mal macht: er könnte aber auch die 1000 Kilogr. mit einem Male mit Hilfe einer Maschine fortschaffen, nur würde dann sein Weg auch zehn Mal so gross sein als der, den die Last durchläuft. Der Vortheil, den die Maschine gewährt, besteht nur darin, dass sie eine Theilung der Last, die in vielen Fällen gar nicht ausführbar sein würde, überflüssig macht.

Handelt es sich um die Arbeit, so bewirken die Maschinen weiter nichts, als dass sie an Kraft so viel ersparen, als an Zeit verloren geht oder umgekehrt: so dass die Zahl der Meterkilogramme, die am Ende der Maschine geleistet werden, nicht grösser sein kann, als die Zahl der Meterkilogramme, die auf die Maschine wirken. Verhielte es sich anders, so würde ein Theil der Last durch sich selbst steigen und man erhielte damit eine Wirkung ohne Ursache.

Beim Gebrauch der Maschine muss man aber weiter beachten, dass sich die Theile derselben in einem widerstehenden Mittel bewegen, dass sie längs Flächen gleiten, die niemals absolut glatt sind, dass die Trägheit der zwischenliegenden Theile überwunden werden muss u. s. w. Dadurch geht natürlich ein Theil der ur-

sprünglichen Potenz verloren, so dass nicht alle die Meterkilogramme, welche auf das eine Ende wirken, sich am andern Ende als nutzbare Arbeit erweisen. Diese Ueberlegungen zeigen die Unmöglichkeit der Construction eines mechanischen Perpetuum Mobile. Früher glaubte man, dass die Potenz, welche in der Maschine durch die Reibung und den Widerstand des Mittels aufgebraucht wird, vollständig verloren sei: dem ist aber nicht so, denn nach der neueren Ansicht ist sie nur einfach verwandelt und zerstreut. Sowohl der Stoss als auch die Reibung erwecken Wärme in den Theilen der Maschine, in den Axen und selbst in dem Mittel, in welchem sie sich bewegt; und diese Wärme ist der genaue Ausdruck für den Betrag der Potenz, welcher bei dem Uebergang von einem Ende der Maschine zum andern für uns wirklich verloren geht, indem er sich theils in der Luft verliert, theils durch die Stützen entweicht, auf alle Fälle aber nicht nutzbar gemacht werden kann.

Auf diese Thatsache, welche von den Alten vollständig vernachlässigt wurde, hat man in neuerer Zeit seine Aufmerksamkeit gelenkt und hat darauf das Princip der Erhaltung der Kraft gegründet. Da sich nun alle Kräfte in Wirklichkeit auf Bewegungen zurückführen lassen, so haben einige auch den Ausdruck Erhaltung der Bewegung für dieses Princip angewendet; und dieser Ausdruck hat viele Einwendungen hervorgerufen, die auf den ersten Blick volle Berechtigungen zu haben scheinen. Wie kann man, ist gesagt worden, von Erhaltung der Bewegung sprechen, wenn man sieht, dass zwei unelastische Körper, die gegen einander stossen und deren Massen sich umgekehrt wie die Geschwindigkeiten verhalten, nach dem Stosse vollständig zur Ruhe gelangen? Hierauf ist zu antworten, dass diese Ruhe nur eine scheinbare ist, dass die Bewegung, welche zuvor die sichtbare Masse belebte, nach dem Stosse in das Innere eingedrungen ist und die kleinsten Theilchen in Schwingungen versetzt, dass sie sich mit einem Worte als Wärme zeigt, so dass also die Grösse der Kraft, oder Energie der Potenz, oder endlich der Bewegung sich vollständig erhalten hat. Wenn wir behaupten, dass die Bewegung erhalten bleibt, so darf man dies nicht so verstehen, als ob die Bewegungsgrösse dieselbe bliebe; denn mit diesem Ausdrucke bezeichnen wir ja nur das Product der begrenzten Masse mit ihrer Geschwindigkeit. Hier aber handelt es sich nicht allein um die Uebertragung irgend welcher Kraft, sondern auch um das Ueberwinden von Widerständen, wie der Molecular-

kräfte, die im Augenblicke des Stosses mit ins Spiel kommen. Dadurch ist eine Arbeit verrichtet worden; und wenn wir daher die Erhaltung der Bewegung auffinden wollen, so müssen wir auch das Aequivalent dieser Arbeit berücksichtigen, welche unter anderen Bedingungen den Körper um einen gewissen Weg weiter bewegen könnte: dann werden wir finden, dass die lebendige Kraft vollständig erhalten bleibt.

Wie diese Rechnung auszuführen ist, welche Gesetze für eine solche Umwandlung der Kräfte gelten, und unter wie vielerlei Formen sie sich zeigt, das werden wir im Verlaufe dieses Werkes sehen; denn die Entwickelung dieser Ideen ist gerade die Aufgabe desselben.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Druckkräften und Potenzen besteht noch darin, dass die ersteren immer unabänderlich dieselbe Grösse behalten, während sich die letzteren je nach ihrer Natur erschöpfen, indem sie eine Arbeit vollbringen, oder, besser gesagt, sich verwandeln, indem sie andere Arten von Bewegung erzeugen. Wird eine Uhrfeder gespannt, ohne dass das Räderwerk geht, so behält sie ihre Spannung während der ganzen Zeit unabänderlich bei; dasselbe lässt sich von dem Drucke eines schweren Körpers auf seine Unterlage, und von dem Drucke comprimirter Luft in einem Recipienten sagen. Lässt man dagegen das Uhrwerk weiter laufen, so erschöpft sich die Spannung der Feder, indem sie die Unruhe antreibt und die Trägheit derselben bald auf der einen, bald auf der andern Seite vernichtet, indem sie ferner die Reibung an den Zapfen der Räder überwindet, und schliesslich verwandelt sie sich nach manchen Umformungen vollständig in ein gewisses Quantum von Wärme. Fällt der schwere Körper von seiner Unterlage herab, so erlangt er durch die Schwere eine gewisse lebendige Kraft; stösst er nun gegen den Boden, so erzeugt auch er Wärme: könnte man nun diese Wärme durch eine thermische Maschine vollständig ohne Verlust nutzbar machen, so würde sie ausreichen, um den Körper auf seine ursprüngliche Höhe zu heben. Die comprimirte Luft endlich kann mit Hülfe einer Maschine einen Nutzeffect bringen, der dem gleich ist, welcher zur Comprimirung nöthig war, wenn man nur die Wärme mit in Rechnung zieht, die sich beim Zusammendrücken entwickelt. Es verschwinden also weder die Druckkräfte noch die Potenzen, nur mit dem Unterschiede, dass die ersteren träg in ihrem Zustande ver-

harren, während die zweiten zwar ihren Zahlenwerth behalten, dabei sich aber in verschiedene Arten von Bewegung verwandeln, so dass es nicht immer leicht ist, sie wieder zu erkennen, indem sehr oft das Unwägbare dabei in's Spiel kommt, wie bei den elektrischen, magnetischen, optischen und chemischen Erscheinungen. Aber auch in diesen Fällen hat es die neuere Wissenschaft verstanden, den Umformungen nachzuspüren, wie wir sehen werden.

Die Abhängigkeit zwischen den Druckkräften und den Potenzen wurde von jeher in der Wissenschaft erkannt, und darauf gründete sich die Eintheilung der Mechanik in Statik und Dynamik: es ist dies also nicht eine Entdeckung der neueren Zeit, sondern die neueren Physiker haben nur, wie oben bemerkt, zur Klärung der Ideen die Kräfte durch passendere Bezeichnungen unterschieden und dadurch das Verhältniss derselben deutlicher gemacht. Jede der vorgeschlagenen Bezeichnungen ist gut, vorausgesetzt, dass ihre Bedeutung richtig definirt wird; aber einen wichtigen Punkt müssen wir hier noch zur Sprache bringen.

Die disponible Potenz ist nicht ein wirkliches Etwas, welches in den Körpern existirt und eine denselben innewohnende Eigenschaft bildet: es besteht nur in einer äusseren Einwirkung, welche auf den Körper vermittelst einer vorhergehenden Arbeit ihren Einfluss ausübt, und vermöge deren er nach Entfernung der Hindernisse eine Arbeit leisten kann. Daher ist dem Körper nichts hinzugefügt oder in ihm aufgehäuft und es ist nur bildlich zu verstehen, wenn man sagt, dass die Kraft in ihm aufgehäuft oder aufgespeichert sei. Trägt man z. B. ein Gewicht auf eine hohe Stütze hinauf, so muss man eine Arbeit verrichten; wird es dort niedergelegt, so könnte es daselbst ewig liegen bleiben, es hat also in sein Inneres durchaus nichts aufgenommen. Dadurch ist die Schwerkraft nur in eine neue Beziehung, die von der früheren verschieden ist, zu dem Gewichte getreten: wird die Stütze entfernt, so wird sie den Körper herabziehen und dadurch die Arbeit wieder ersetzen, die man aufgewendet hatte, um ihn in die Höhe zu bringen. Die potentielle Energie hat daher ihren Sitz nicht im Körper, wie man fälschlich sagt, sondern in der Schwerkraft, welche bezüglich dieses Körpers modificirt war. Wir wissen nicht, worin diese Schwerkraft besteht, aber um uns eine Vorstellung zu machen, können wir sie mit einem Druck vergleichen, welcher die Körper auf einen möglichst tiefen Punkt herunter zu treiben strebt, so wie eine Flüssig-

keitssäule, mit welcher der Kolben einer Pumpe belastet ist, der auch wieder herabsinkt, sobald der Widerstand entfernt ist, der die Kolbenstange gehoben hielt.

Derselbe Sprachgebrauch findet auch auf die anderen Naturkräfte, auf die Wärme, die chemischen und molecularen Potenzen u. s. w. in einer Weise Anwendung, die wir im Verlaufe dieses Werkes kennen lernen werden, dessen Zweck ist, zu zeigen, dass sich diese Theorien auf alle Naturkräfte ausdehnen lassen.

Wir hielten es für nothwendig, über die Kräfte im Allgemeinen und die Principien ihrer Wirksamkeit diese Bemerkungen vorauszuschicken und den Sinn der angewendeten Ausdrücke zu erklären, um Missverständnisse zu vermeiden. Wer sich weiter mit dem Gegenstande beschäftigen will, dem empfehlen wir S. Robert's kurze, aber interessante Abhandlung: „Qu'est-ce que la force?“ in La Revue scientifique, 13. April 1872, Nr. 42, T. III, p. 985, welche auch in andere Blätter, wie Les mondes u. s. w. übergegangen ist.

Das Resultat unserer Auseinandersetzung ist also, dass der Ausdruck Kraft als der allgemeinere anzuwenden ist und dass er in die zwei Arten zerfällt: 1) Druckkräfte, Spannungen, Anziehungskräfte u. s. w. und 2) Potenzen, welche wieder je nach der Art ihrer Anwendung verschiedene Benennungen annehmen. Andere Ausdrücke für beide Arten sind disponible und lebendige Potenzen, oder auch potentielle und actuelle Energien. Ueber die Natur der Kräfte haben wir nichts gesagt. In der Physik nimmt man überall da Kräfte an, wo man Bewegung sieht: unsere Aufgabe ist es nur, die hauptsächlichsten Kategorien derselben aufzusuchen und zu zeigen, wie sich dieselben auf rein mechanische Thätigkeiten zurückführen lassen. Sollte sich die Natur der Kräfte überhaupt jemals erklären lassen, so kann dies nur infolge derartiger Analysen geschehen.[1])

[1]) Zu ganz ähnlichen Resultaten kommt James Croll in einem auf der Britischen Naturforscher-Versammlung 1876 gehaltenen Vortrage, indem er den scheinbaren Widerspruch untersucht, dass die Schwerkraft nichts an Kinetischer Energie verliert, wenn sie einen Körper aus einer bestimmten Höhe herabzieht, also eine Arbeit verrichtet. Auch er weist darauf hin, dass die Schwere, die einen Körper aus 100 Fuss Höhe herabziehen kann, wenn er sich in dieser Höhe befindet, ihn nur 20 Fuss herabbewegen kann, sobald er auf diese Höhe herabgesunken ist, dass mithin die potentielle Energie in diesem Masse abgenommen hat. (Philos Magaz. Ser. 5, Vol II, No. 11, Oct. 1876, P. 241.) Sch.

§. 3. Classification der Naturkräfte.

Die unendliche Zahl der Wesen, die uns im weiten Bereiche der Schöpfung umgeben, kann man in zwei Classen theilen: die einen besitzen Leben und organische Natur; die anderen sind leblos und nur aus todter Materie gebildet. In der ersten Classe ändert ein inneres Princip beständig die Formen und lässt sie eine geschlossene Reihe von Umwandlungen und Entwickelungen durchlaufen, deren Resultat das Wachsen des Individuums bis zu einem gewissen Höhepunkte der Vollkommenheit ist, auf welchem es fähig wird Wesen hervorzubringen, die ihm ähnlich sind; hierauf geht das Individuum in seiner Entwickelung wieder zurück, es stirbt ab und die Masse seines Körpers wird wieder zur todten Materie. Das Leben ist nothwendig bedingt durch eine gewisse Anordnung und Bewegung der Körpertheile, welche die einzelnen Organe bilden.

Die zweite Classe umfasst alle die Wesen, welche einem solchen Principe, das in ihnen Umwandlungen und schliesslich ihren Untergang bewirkt, nicht unterworfen sind. Deswegen sind dieselben aber nicht unveränderlich, allein sie ändern sich nur unter dem Einflusse äusserer Ursachen, die man physikalische Kräfte nennt. Dem Einfluss derselben sind auch die organischen Körper unterworfen, indem diese selbst im Grunde aus todter Materie gebildet sind, und ihre Wirkung kann sich sogar bis zur Zerstörung der Anordnung der Theile steigern, welche das Bestehen des Organismus bedingt, und der Bewegung, in welcher im physischen Sinne das Leben besteht.

Schon seit langer Zeit hat man die physikalischen Kräfte in folgende wenige Gruppen eingetheilt: Wärme, Licht, Elektricität, Magnetismus, molecule Anziehung, chemische Verwandtschaft und allgemeine Massenanziehung oder Schwerkraft. In den letzten Jahren ist die Wissenschaft in eine neue Phase getreten: ihre zahlreichen Pfleger und der gewaltige Antrieb durch die nützlichen Anwendungen, die immer zahlreicher von ihr gemacht werden, haben sie mit Riesenschritten weiter getrieben; die Mittel, welche auf die Versuche und Beobachtungen verwendet werden, sind nicht mehr so spärlich und beschränkt, wie sie einem einfachen Gelehrten in der Regel zu Gebote stehen, sondern reiche Handelsgesellschaften und aufgeklärte Regierungen gewähren namhafte Summen für ihre Zwecke: und so war es möglich, im grossen Massstabe die Folgerungen zu bestätigen, welche die Gelehrten aus ihren Speculationen

gezogen hatten, und das Feld derselben zu erweitern. Die Anwendung des Dampfes in den Kraftmaschinen, der Elektricität in der Telegraphie und der Metallurgie (wie zur Gewinnung von Licht, Wärme und Triebkraft, Sch.), die Anwendungen der Chemie in den Künsten und Gewerben des täglichen Lebens, haben eine Reihe von Untersuchungen veranlasst, welche zugleich auch die Theorie der Constitution der Körper in ein neues Licht gesetzt haben. Viele von Alters her allgemein angenommene Ansichten sind aufgegeben und neue an ihre Stelle gesetzt: wider alles Erwarten hat man ein Band gefunden zwischen den einzelnen Triebkräften der Natur, die man bisher für unabhängig von einander hielt, und damit scheint der Weg eröffnet zu sein zur Lösung des grossen Problems, das zum Ziele hat, die Natur der Kräfte zu ergründen, die den Stoff beherrschen.

Die Beschaffenheit dieser so langen geheimnissvollen oder schlecht erkannten Kräfte scheint sich unter einer neuen und einfacheren Form zu enthüllen, denn sie erscheinen uns als Bewegungen, sei es der gewöhnlichen Materie oder eines unwägbaren, unfühlbaren Stoffes, des Aethers, der sich nicht zusammendrücken lässt und durch den ganzen Weltenraum verbreitet ist, und dieser Aether scheint durch einfach mechanische Bewegung das thätige Princip, die Ursache unzähliger Erscheinungen zu sein. Doch in welcher Weise vollzieht sich eine solche Arbeit? Wie lassen sich so viele verscheidene Erscheinungen unter einen Gesichtspunkt bringen? Nur solche Thatsachen, welche genügend untersucht und gut gesichtet sind, können auf eine so schwierige Frage einiges Licht werfen, und jeder Theorie muss eine Auseinandersetzung und gründliche Musterung der beobachteten Erscheinungen vorauszugehen. Erst wenn man diese Aufgabe erfüllt hat, darf man mit Schlüssen und Hypothesen dort nachhelfen, wo das Licht der Thatsache und die Einsicht durch die Sinne fehlt.

Die grosse Zahl der Erscheinungen, durch welche sich jene Kräfte kund thun, zu sammeln und den gegenseitigen Zusammenhang darzulegen, das ist es, was ich auf den folgenden Seiten versucht habe, indem ich dabei immer an die Unterweisung der studirenden Jugend dachte. Einigen Nutzen aber können daraus nur die ziehen, welche bereits einigermassen mit der Wissenschaft vertraut sind: ihnen wird vielleicht ein neues Licht aufgehen, mit welchem sich die Wahrheiten gegenseitig erhellen, wenn wir die bereits bekannten Thatsachen ordnen und unter einen geeigneten

Gesichtspunkt stellen und auf diese Weise die Grenzen unserer Kenntnisse einander nähern. Ich habe gesucht, möglichst wenig Eigenes einzufügen, und nur da, wo sich eine Lücke zeigte und andere Arbeiten fehlten, habe ich mich für berechtigt gehalten, einige Ergänzungen einzufügen, von denen ich nicht weiss, ob sie gelungen sind.

Die Zurückführung aller oben aufgezählten Naturkräfte auf ein einziges Princip ist das Streben der Gelehrten unserer Tage, allein man muss gestehen, dass der Weg durchaus noch nicht geebnet ist: grosse Lücken unterbrechen ihn noch, und glücklich, wer sie auszufüllen versteht. Es ist versucht worden, dies dadurch zu bewirken, dass man jedes Princip mit Ausnahme der wägbaren Materie ausschloss: ich werde einen andern Weg versuchen und der Leser mag entscheiden, mit welchem Erfolge; doch kann es leicht geschehen, dass der Unterschied zwischen beiden Theorien nicht so gross ist, als es anfangs scheint. Lässt man zunächst die Partien bei Seite, welche noch zweifelhafte Punkte betreffen, so hege ich das Vertrauen, dass, wenn man die schon vollendeten Theile dieses grossen Gebäudes zu vereinigen sucht, es leichter gelingen wird zu seiner Vollendung zu gelangen.

Ich weiss, dass der Geist der jetzigen Gelehrten derartigen Arbeiten eher abhold ist und dass viele lieber Thatsachen und Experimente sammeln, als dass sie dieselben theoretisch discutirten; doch auch diese Aversion ist im Abnehmen. Und in der That, so wie es verkehrt sein würde, wenn Jamand immer Baumaterialien anhäufen wollte und nie an das Bauen dächte, so würden auch die Gelehrten nicht richtig handeln, wenn sie sich damit begnügten Thatsachen zu sammeln und nicht von Zeit zu Zeit dazu kämen, das bereits Geleistete zu überblicken, und wenn dies auch nur geschähe, um die Lücken und schwachen Stellen kennen zu lernen und um zu versuchen, dieselben auszufüllen: denn das einzige Ziel der Naturwissenschaft ist ja doch nur die Kenntniss der Constitution und der Gesetze des Weltalls. Auf solche Weise wird der heranwachsenden Generation der Weg geebnet, auf dem sie zu richtigeren Ansichten gelangen kann, als wir vielleicht besitzen; und dies ist auch der einzige Zweck dieser Arbeit. Mit Freuden werde ich dem Beifall zollen, der auf dieser Rennbahn den Preis über mich davonträgt; bis dahin aber sage ich mich Horaz:

. Si quid novisti rectius istis
Candidus imperti, si non, his utere mecum.

ERSTES BUCH.

DIE WÄRME.

ERSTES BUCH.

DIE WARME.

KAPITEL I.

Grundbegriffe und allgemeine Gesetze der Wärme.

Den Alten war das Feuer die Ursache alles Lebens, das belebende Princip des Weltganzen: mit dem Flammenblitze bewaffneten sie die Rechte des donnernden Jupiter. Und mit Recht hat man dieses feine, unüberwindliche Agens, welches im Stande ist alles zu durchdringen, alles zu zerstören und umzuwandeln, seit den ältesten Zeiten zu den gewaltigsten Kräften der Natur gezählt. Aber das Feuer ist selbst eine sehr zusammengesetzte Erscheinung, welche nur bei grosser Wärmeentwickelung in einem Körper entstehen kann und stets mit Lichterscheinungen und chemischer Veränderung der brennenden Stoffe verbunden ist. Alle diese Wirkungen aber werden durch ein Agens, durch eine thätige Kraft hervorgerufen.

Um dieses Agens kennen zu lernen, musste die neuere Wissenschaft die unklaren Begriffe des Alterthums scharf bestimmen: sie hat daher die einzelnen Fälle, in denen es sich äussert, von einander geschieden und seinen Einfluss in manchen Erscheinungen erkannt, an denen es auf den ersten Blick keinen Antheil zu haben scheint. So hat man die Temperaturerhöhung, die Lichterzeugung und die chemische Zersetzung, welche durch die Wärme bewirkt werden, sorgfältig von den eigenthümlichen Erscheinungen ähnlicher Art getrennt, die das himmlische Feuer, den Blitz, begleiten, der ja schon von den Schöpfern der Elektricitätslehre als elektrisches Feuer

bezeichnet wird. Endlich ist es auch gelungen die ununterbrochene Mitwirkung der Wärme im Haushalte der Natur nachzuweisen und ihr geheimnissvolles Wesen zu ergründen. Man musste zuvörderst alle Thatsachen, alle Beobachtungen analysiren: nunmehr aber ist es die Aufgabe der Wissenschaft, eine andere Methode zu verfolgen, jetzt muss sie alle die einzelnen Vorgänge, welche gewöhnlich in einer Naturerscheinung vereinigt sind, vergleichen und unter einen Gesichtspunkt bringen. Allein die Darstellung dieser grossen Synthese würde unverständlich sein und der Begründung entbehren, wenn ihr nicht eine strenge Analyse vorausginge: daher werden wir in diesem Buche den Weg einschlagen, dass wir die verschiedenen Gesichtspunkte darlegen, unter denen die Wissenschaft die Thätigkeit dieser allwaltenden Ursache betrachtet, und dass wir nicht eine Definition formuliren, ehe wir sie nicht aus den vorher angeführten Thatsachen ableiten können.

Wir werden zuerst die Thätigkeit und die Gesetze des Agens untersuchen, welches in uns die Empfindung hervorruft, die wir als Wärmeempfindung bezeichnen, und welches wir schlechtweg Wärme nennen. Doch ausser dieser Wirkung auf den Menschen und alle mit Empfindung begabten Geschöpfe zeigt sich die Anwesenheit der Wärme in allen unorganischen Körpern durch eine Aenderung des Volumens, sodass man im Allgemeinen sagen kann, dass in allen Stoffen eine Vermehrung der Wärme mit Ausdehnung, eine Verminderung mlt Zusammenziehung verbunden ist.

Die Empfindung, von der wir eben sprachen, ist eine rein physiologische Erscheinung, welche sich von der Ausdehnung der Körper vollständig unterscheidet, und nie als Massstab dienen kann um die Intensität der Wärme zu messen, noch weniger aber um uns über ihre Natur aufzuklären. Denn wenn auch die erste Wirkung der Wärme auf unsern Körper in einer Ausdehnung der zuerst getroffenen Punkte bestehen mag, so sind die weiteren Vorgänge in unseren Organen doch wesentlich verschiedener Art. Auch ist unsere Empfindung den grössten Täuschungen unterworfen: wie z. B. das Berühren eines sehr kalten Körpers in uns dasselbe Gefühl hervorruft, als wenn wir uns an einem rothglühenden Körper verbrennen.

Die Bestimmung der Stärke der wärmenden Kraft gründet sich auf die Erscheinungen der Ausdehnung; sie wird bewirkt mit Hilfe der Thermometer, Instrumente, bei denen eine gegebene Ausdehnung mit Genauigkeit ermittelt werden kann. Die Intensität

dieser Kraft bestimmt die Temperatur oder den Grad der Erwärmung.

Aus einer langen Reihe von Beobachtungen über die Eigenschaften erwärmter Körper haben sich einige Gesetze ergeben, welche uns als Ausgangspunkt dienen müssen, da sie von jeder theoretischen Ansicht unabhängig sind, und welche wir jetzt folgen lassen:

1. Die Wärme sucht sich in allen Körpern auszugleichen: mit anderen Worten, es erfolgt ein beständiger Austausch zwischen den erwärmten Körpern, welche mit einander in Berührung oder von einander entfernt sind, bis alle gleiche Temperatur oder gleichen Grad der Erwärmung besitzen, d. h. bis ein Thermometer bei allen gleiche Ausdehnung zeigt. Dieser Austausch geschieht zwischen Körpern, die sich berühren, vermöge der Leitungsfähigkeit derselben, zwischen entfernten Körpern aber mittels der Strahlung. Daher haben wir die statische oder durch Leitung verbreitete und die strahlende Wärme zu unterscheiden. In diesem Buche werden wir uns nur mit den Erscheinungen erster Art beschäftigen und sparen uns die anderen für das zweite Buch auf.

Da aber zwei Körper von gleicher Temperatur meistens sehr verschiedene Wärmemengen enthalten, so ergibt sich ein zweites Gesetz:

2. Die Wärmemengen, welche erforderlich sind, um die Temperatur gleicher Gewichte von verschiedenen Stoffen um gleich viele Grade zu steigern, sind nicht gleich. So erhöht z. B. dieselbe Wärmemenge, welche ein Kilogramm Wasser um 1° erwärmt, die Temperatur von einem Kilogramm Eisen um 9°. Taucht man daher in eine Wassermasse von 10° eine Eisenmasse von gleichem Gewichte und einer Temperatur von 0°, so ergiebt sich eine Mischungstemperatur von 9°: indem sich das Wasser um nur einen Grad abkühlt, erwärmt es das Eisen um 9°.[1]) Vergleicht man die Wärmemengen, welche erforderlich sind um zwei verschiedene Körper von gleichem Gewichte auf gleiche Temperatur zu erheben, so heisst jede der gefundenen Verhältnisszahlen die specifische Wärme des betreffenden Stoffes oder seine Wärmecapacität. Selbstverständlich kann man nicht die absoluten Mengen, sondern nur ihre Verhältnisse messen. Deshalb hat man sich

[1]) Wir geben hier nur genäherte Werthe, wie sie zur Erläuterung der Gesetze genügen: später kommen wir auf diesen Punkt zurück. S.

dahin geeinigt alles auf das Wasser zu beziehen und als Masseeinheit die Wärmemenge zu nehmen, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm destillirtes Wasser von 0° C. bis 1° C. zu erwärmen. Diese Einheit heisst Calorie. Dieses Verfahren stimmt mit dem überein, welches man in der Mechanik anwendet um die Grössen von Kräften oder von Massen zu bestimmen: man setzt sie immer in Verhältniss zu einer bestimmten Einheit der Kraft oder der Masse. Um die Erscheinungen zu studiren und die Verhältnisse zu berechnen braucht man nicht zu wissen, worin die Natur der Wärme besteht, so wie es bis jetzt auch noch nicht möglich ist, eine Wärmemenge nach absolutem Masse zu messen.

3. Es hängt von der Wärmemenge ab, ob sich ein Körper im festen, tropfbar flüssigen oder luftförmigen Aggregatzustande befindet und alle Körper können jede dieser drei Formen annehmen, wenn man ihnen nur eine genügende Wärmemenge darbietet. Beim luftförmigen oder gasförmigen Zustande nimmt man an, dass die Molecüle vollständig frei beweglich seien und sich gegenseitig abstossen, sodass die Körper einer unbegrenzten Expansion fähig sind. In den tropfbaren Flüssigkeiten lassen sich die Molecüle durch den geringsten Anstoss bewegen, aber sie stossen sich nicht gegenseitig ab; und endlich in den festen Körpern sind sie unter einander durch eine Kraft verbunden, die man Cohäsion nennt. Daher besitzen diese Körper eine feste Gestalt, welche durch die anziehenden Kräfte bestimmt wird, die ihre Theile vereinigen. Im Allgemeinen ändert sich beim Uebergange aus einem Zustande in den andern das Volumen, so wie auch die Beweglichkeit der Molecüle eine verschiedene ist; letztere ist am grössten in den Gasen, am kleinsten in den festen Körpern. Man darf hier nicht vergessen, dass wir vollständig in Unkenntniss sind, was wir uns unter anziehenden Kräften zu denken haben, wir nehmen sie als eine Thatsache an und bezeichnen sie mit einem allgemein gebräuchlichen Namen. Später werden wir uns über den wahren Sinn dieses Ausdrucks verständigen. Uebrigens sind die beiden letzten Aggregatzustände keineswegs streng von einander geschieden: auch feste Körper werden durch starken Druck zum Fliessen gebracht, wie zähflüssige oder leichtflüssige. Auch von Metallen, welche sich durch starken Druck in die Formen pressen lassen, wie dies beim Prägen der Münzen geschieht, könnte man sagen, dass sie flüssig sind.

4. Geht ein Körper aus einem Aggregatzustand, in

welchem die Molecüle weniger frei sind, über in einen anderen, in welchem die Theilchen mehr Freiheit besitzen, so wird eine gewisse Wärmemenge **gebunden** oder **latent**; im umgekehrten Falle erscheint diese Wärme wieder als freie Wärme. Dieses ungemein wichtige Gesetz gründet sich auf die zuverlässigsten und alltäglichsten Beobachtungen. Mischt man z. B. 1 Kilogramm Eis von 0° mit einer gleichen Menge Wasser von 79°, so zeigt die Mischung, wenn alles Eis geschmolzen ist, doch nur eine Temperatur von 0°; also hat der feste Körper beim Schmelzen alle Wärme, die im Wasser enthalten war, d. h. 79 Calorien aufgebraucht.[1]) Diese Wärme, welche man nun latent nennt, wirkt mithin nicht mehr auf das Thermometer; sie hat aber eine andere Wirkung hervorgebracht: sie hat die Bande zerstört, welche die Molecüle des festen Wassers an einander gefesselt hielten, und letzteren die den Flüssigkeiten eigenthümliche Beweglichkeit ertheilt.

In gleicher Weise wird eine gewisse Menge Wärme latent, wenn ein Körper aus dem tropfbar flüssigen in den luftförmigen Zustand übergeht. Diese Wärmemenge beträgt beim Wasser 606,5 Calorien.[2]) Wird umgekehrt der Wasserdampf zu flüssigem Wasser verdichtet, so werden die vorher absorbirten 606,5 Calorien wieder frei, ebenso wie beim Erstarren des Wassers die vorher zum Schmelzen des Eises verbrauchten 79 Calorien sich entbinden. Mithin ist bei gleicher Temperatur die absolute Menge der Wärme in einem Körper in seinen verschiedenen Aggregatzuständen nicht dieselbe, und daher hat man den Ausdruck latente (versteckte) Wärme gewählt. Die vorstehenden Bezeichnungen und viele andere verdanken ihre Entstehung gewissen theoretischen Vorstellungen, welche vor Alters über die Natur der Wärme bestanden; ihre wirkliche Bedeutung werden wir später kennen lernen: vor der Hand gebrauchen wir sie als conventionelle Ausdrücke zur kurzen Bezeichnung der Thatsachen.

Um sich von diesen alten Vorstellungen zu befreien, unter-

[1]) Streng genommen ist die Wärmecapacität des Wassers, wie überhaupt aller Körper, nicht dieselbe bei allen Temperaturen, sondern wächst mit diesen; wir wollen hier aber von diesen kleinen Unterschieden absehen. S.

[2]) Die oben angeführte Zahl gilt für den Fall, dass Wasser von 0° in Dampf von 0° verwandelt wird: soll dagegen Wasser von 100° in Dampf von gleicher Temperatur übergeführt werden, so beträgt die latente Wärme nur 537. Sch.

scheidet man neuerdings die Calorien, welche zur Temperaturerhöhung dienen, von denen, welche zur Schmelzung oder Verdampfung oder Ausdehnung verbraucht werden.

5. Die Ausdehnung der Körper ist eine verschiedene, sowohl nach dem Stoffe, aus welchem sie bestehen, als auch nach dem Aggregatzustande, in dem sich dieser Stoff befindet. Für luftförmige Körper kann man annäherungsweise das Gesetz aussprechen, dass die Ausdehnung der Temperatur, die Dichtigkeit aber dem Druck direct proportional ist. Den ersten Theil dieses Gesetzes, welcher von Gay-Lussac herrührt und nach ihm benannt wird, hielt man für richtig für alle Gase und Dämpfe, bis Regnault zeigte, dass er sich um so mehr von der Wahrheit entfernt, je mehr sich der luftförmige Körper dem Punkte nähert, wo er in den tropfbar flüssigen Zustand übergeht. Eine ähnliche Bemerkung trifft den zweiten Theil, welcher unter dem Namen des Gesetzes von Boyle oder Mariotte bekannt ist. Das ganze Gesetz gilt nur für die sogenannten permanenten Gase, d. h. für diejenigen, welche von ihrem Condensationspunkte sehr weit entfernt sind. Es ist eins von den annäherungsweise gültigen Gesetzen, denen die Stoffe unterworfen sind, so lange die Molecularkräfte nicht als störende Kräfte eingreifen; diese Kräfte üben aber alle ihre Thätigkeit aus, sobald sich der Körper dem Punkte nähert, wo er seinen Aggregatzustand ändert. In ähnlicher Weise ist ja auch die elliptische Bewegung der Gestirne nur ein annähernd gültiges Gesetz, welches in aller Strenge nur gelten würde, wenn sich ein einziger Planet nur um einen Centralkörper bewegte; da es aber mehrere Planeten gibt, so findet die elliptische Bewegung nur annäherungsweise statt. Die Kraft, mit welcher die Wärme alle Körper, besonders die luftförmigen, ausdehnt, ist es, welche man in allen calorischen Maschinen als treibende Kraft benützt; in Folge dieser Expansionskraft verrichtet die Maschine eine Arbeit, wie wir in der Folge ausführlicher darlegen werden.

Die Wärme heisst unwägbar, weil die Körper, wenn sie erwärmt sind, kein grösseres Gewicht besitzen, als bei der grössten Abkühlung; man setzt ihre Anwesenheit in allen Körpern voraus, da jeder Körper, wie kalt er auch sei, doch immer noch einer grösseren Abkühlung unterworfen werden kann. Die obigen Gesetze werden wir je nach Bedürfniss citiren: jetzt aber wollen wir die Natur der Wärme untersuchen.

KAPITEL II.

Geschichtlicher Ueberblick über die Entwickelung der mechanischen Wärmelehre.

Bis in die neuesten Zeiten wurde die Wärme selbst von den bedeutendsten Physikern für einen besonderen, der Schwere nicht unterworfenen Stoff angesehen, welcher das Volumen der Körper dadurch vergrösert, dass er sich in ihre Poren einschiebt. Diese Theorie erklärte eine grosse Zahl der wichtigsten Erscheinungen, welche man damals kannte, wie die Unveränderlichkeit der specifischen und der latenten Wärme. Man nahm an, dass sich die Wärme in solcher Weise zwischen die Poren eines Körpers einlegen könne, dass sie auf das Thermometer ohne Einfluss sei, und dass die verschiedenen Stoffe verschiedenes Fassungsvermögen für die Wärme besitzen. Diese Theorie gestattete den Physikern und den Mathematikern, die Erscheinungen der Beobachtung und der Rechnung zu unterwerfen und wurde daher von den bedeutendsten Gelehrten wie Laplace, Lavoisier, Carnot, Gay-Lussac u. a. m. angenommen.

Andere Physiker untersuchten den engen Zusammenhang, der zwischen Bewegung und Wärme besteht: sie beachteten, dass jede Temperaturänderung sich in eine Aenderung des Volumen übersetzt, welche selbst in Bewegung besteht; und dass umgekehrt jede Bewegung stets Wärme erzeugt. Sie schlossen aus ihren Untersuchungen, dass die Wärme eine Bewegung ist, welche im Innern der Körper stattfindet, und dass sich in Folge dieser Bewegung die Zwischenräume zwischen den Molecülen ändern, sobald diese letzteren unter dem Einflusse äusserer, mechanischer oder chemischer Kräfte in Conflict gerathen. Newton erklärt geradezu die Wärme für eine schwingende Bewegung in den Körpern. [1]) Rumford und Montgolfier entwickelten diese Theorie weiter. Der Erstere ging von den alltäglichsten Erscheinungen der Reibung aus: er beobachtete, welche ungeheuere Menge von Wärme sich beim Bohren der Kanonen entwickelt und schloss, dass sich diese Wärmeerzeugung nicht durch die herrschenden Vorstellungen seiner Zeit erklären liess, d. h. wenn man die Wärme für einen Stoff ansieht.

[1]) Quaestiones opticae 5, p. 294 der Londoner Ausgabe von 1706. — „Annon agit lumen in corpora ad ea calefacienda scilicet motumque vibrantem in quo calor consistit in partibus excitandum.“ S.

In der That änderte sich die Wärmecapacität des Metalles nicht, auch wurde die Wärme nicht den Körpern in der Umgebung entzogen, dieselben würden übrigens auch nicht unbegrenzte Mengen von Wärme herzugeben vermögen, so wie ein Schwamm, der gedrückt wird, nur das Wasser ausfliessen lässt, mit welchem er getränkt war. Einzig und allein die mechanische Kraft, welche aufgebraucht wurde, um die Metalltheile in Bewegung zu versetzen, liess eine Erklärung für diese unbegrenzte Wärmeentwickelung zu. Noch heute bilden die Versuche von Rumford einen Ausgangspunkt für die mechanische Wärmelehre und dienen dazu, um das Verhältniss der entwickelten Wärme zur aufgewendeten Kraft zu bestimmen. Auch Davy hat beobachtet, dass die Reibung eine Ursache der Wärme ist. Er sah, dass zwei Eisstücke allmählich schmolzen, wenn man sie gegen einander rieb, selbst wenn man es bei einer Temperatur unter Null ausführte. Aber der berühmte englische Physiker wusste von dieser Erscheinung keine Anwendung auf die Theorie zu machen.

Montgolfier stützte sich auf das Princip der Erhaltung der lebendigen Kraft beim Stosse; er wurde darauf geführt über diesen Gegenstand nachzudenken, während er eine von ihm erfundene Maschine, den hydraulischen Widder, studirte. Allein er beschäftigte sich nur wenig mit diesen Ueberlegungen, so dass dieser ausgezeichnete Mann viel mehr durch die Erfindung des Luftballons, als durch Untersuchungen aus der Wärmelehre bekannt ist.

Durch die Fortschritte der Optik und besonders durch Fresnel's Arbeiten veranlasst, entschied sich die Mehrzahl der Gelehrten dahin die Erscheinungen des Lichtes aus der Wellenlehre zu erklären: man nahm an, dass das Licht in einer schwingenden Bewegung bestehe, welche sich einigermassen mit der Bewegung des Schalles vergleichen lässt. Der Schall, welcher gewöhnlich durch das Schwingen fester Körper erzeugt wird, verbreitet sich durch Vermittelung der Luft und anderer Flüssigkeiten: in ähnlicher Weise würde das Licht mit allen thermischen und chemischen Schwingungen, aus denen die Strahlen bestehen, die von den weissglühenden Körpern ausgehen, seinen Ursprung in oscillatorischen Schwingungen der Lichtquellen haben, und zu ihrer Ausbreitung würde die Vermittelung eines Fluidum nothwendig sein. Dieses Fluidum wurde Aether genannt, und man setzte von ihm voraus, dass es im ganzen Weltenraume verbreitet sei.

Melloni's schöne Entdeckungen über die strahlende Wärme haben die Aehnlichkeit der Wärme und des Lichtes bestätigt. Indem Melloni, zuerst in den Vorstellungen seiner Zeit befangen, den Unterschied zwischen diesen beiden Naturkräften festzustellen suchte, kam er allmählich dahin ohne Rückhalt einzugestehen, dass die Strahlen der Wärme und des Lichtes einfach Bewegungen seien.

Aber noch fehlte es an genauen Vorstellungen über die mechanische Thätigkeit der Wärme im Innern der Körper und die Vertheidiger der neuen Lehre konnten noch nicht genügend erklären, worin die Temperatur, die Wärmecapacität und die Erscheinungen der latenten Wärme bestehen. Ueberdem bildeten die Gelehrten, welche sich mit optischen Untersuchungen beschäftigten, und diejenigen, welche das Gleichgewicht der Wärme erforschten, so zu sagen, zwei feindliche Lager. Man hatte noch nicht ermittelt, welche Beziehungen diese beiden Zweige der Physik verbinden und konnte daher auch noch keine einheitliche Theorie aufstellen. Man schwankte fortwährend zwischen den alten und den neuen Ansichten und dabei wurde die Sprache der Wissenschaft durch Ausdrücke überladen, welche theils schlecht gewählt, theils ihrem wahren physikalischen Sinne entfremdet waren.

Nur die Theoretiker in der Mechanik fingen zögernd an sich mit der Wärme als einer treibenden Kraft zu beschäftigen. So veröffentlichte im Jahre 1824 Sadi Carnot seine berühmte Theorie der Dampfmaschine, welche der Ausgangspunkt und Gegenstand neuer Untersuchungen wurde. Er ging von der Hypothese aus dass die Wärme ein Stoff sei, der bei seinem Wege durch die Maschine ungeändert bleibt und der während dieser Wanderung, nur durch sein Gefälle die Bewegung hervorruft, in ähnlicher Weise, wie bei den Turbinen die Arbeit dadurch verrichtet wird, dass Wasser aus einem Niveau zu einem tieferen herabsinkt, ohne dass von seiner Masse etwas verloren geht: denn auch bei allen calorischen Maschinen erfolgt die Wanderung der erwärmten Stoffe vom wärmeren Ende zum minder warmen. Es ist augenscheinlich, dass sich nach dieser Hypothese die aus der Maschine hervorgehende Wärme der ihr zugeführten gleich sein müsste, allein man dachte nicht daran durch den Versuch dieses theoretische Resultat zu prüfen: wäre das Verschwinden eines Theiles der Wärme experimentell festgestellt worden, so wäre damals schon die theoretische Frage

entschieden gewesen, da ein Stoff niemals verschwinden kann. Gleichwohl sind die von Carnot beobachteten Thatsachen höchst interessant. Er bewies, dass die Arbeit, welche durch eine bestimmte Menge Wärme geleistet wird, nicht von dem Stoffe abhängig ist, welcher der Wärme als Träger dient, und stellte weiter die Regeln auf, die man befolgen muss, um bei einer gewissen Temperaturdifferenz an beiden Enden der Maschine einen möglichst grossen Nutzeffect zu erzielen.

Da er die Wärme als einen unabänderlichen Stoff ansah, so konnte jenes Gefälle für ihn nur anf einer Verminderung der Spannung beruhen. Allein dies kann auch unabhängig von einem besonderen Wärmestoffe geschehen, es genügt dazu die Voraussetzung, dass die wägbare Materie, welche der Träger der Wärme ist, eine gewisse Spannung annehmen kann. Man sieht, dass die Annahme eines Wärmestoffes in der That überflüssig ist, woraus es sich erklärt, dass die Carnot'sche Theorie sich so leicht den neueren Ansichten anpasst. Diese Theorie setzt zwei mit einander verbundene Stoffe voraus: nämlich Wärme und z. B. Dampf; der erste ist unentbehrlich um dem zweiten die Spannung zu ertheilen und er begleitet ihn beständig. Nun ist es aber klar, dass man diese Spannung immer dem Dampfe selbst beilegen kann, ohne dass es nöthig ist ihn von einem unwägbaren Körper getreulich begleiten zu lassen. Wir kommen später auf Carnot's Endeckungen zurück, welche trotz ihrer Wichtigkeit lange Zeit unfruchtbar blieben, vielleicht wegen der Art, wie sie veröffentlicht wurden. Diese Untersuchungen sind erst in den letzten Jahren nach ihrem wahren Werthe gewürdigt worden, etwa seit der Zeit, dass Clapeyron um 1834 [1]) ihre Principien klarer entwickelt und analytische Formeln und Rechnungsmethoden hinzugefügt hat, welche dem neueren Verfahren in der Mechanik besser entsprechen.

Ein Punkt blieb noch zu erklären: wie kann man aus der Wärme mechanische Kraft ableiten? Welche Beziehung besteht zwischen beiden? Da führte zuerst um 1839 Séguin den strengen Beweis, dass in einer Maschine, welche eine Arbeit verrichtet, stets Wärme verloren geht; und er versuchte sogar das Verhältniss der geleisteten Arbeit und der aufgebrauchten Wärme zu berechnen,

[1]) Journal de l'Ecole polytechnique, t. XIV, p. 159, chap. XXIII, 1834. S.

indem er von der Unmöglichkeit unaufhörlicher Bewegung ausging. Bald darauf, um 1842, erkannte der deutsche Arzt Mayer zu Heilbronn, indem er Untersuchungen über die physiologischen Erscheinungen der Ernährung und der thierischen Wärme anstellte, dass nothwendig eine bestimmte Beziehung stattfinden müsse zwischen der vom lebenden Körper geleisteten Arbeit einerseits und der durch die Verbrennungen im Innern entwickelten Wärmemenge andererseits. Mayer wagte zuerst den Ausdruck: mechanisches Aequivalent der Wärme zu gebrauchen. Natürlich war die Beobachtung physiologischer Thatsachen zur Feststellung des Zahlenwerthes dieses Verhältnisses nicht sonderlich geeignet, aber Mayer verstand es, mit tiefem Scharfsinne zur Erreichung jenes Zieles die thermischen Eigenschaften der Gase herbeizuziehen, wie wir an geeigneter Stelle zeigen werden. Dieses Verfahren war gut, denn der Versuch zeigt stets, dass die Wärme niemals eine Arbeit verrichtet ohne gleichzeitige Volumenänderung in den Körpern; und in dieser Beziehung eignen sich die Gase für die Beobachtung am besten.

Mayer fand eine ungenaue Zahl, nicht deshalb, weil seine Methode fehlerhaft gewesen wäre, sondern weil er jenen Werth aus ungenügend beobachteten Daten ableitete; als seine Rechnung mit besseren Beobachtungselementen wiederholt wurde, so ergab sich ein Resultat von der äussersten Genauigkeit. Ihm also gebührt der Ruhm das Princip der Erhaltung der Kraft aufgestellt und die Unveränderlichkeit des Verhältnisses aufgefunden zu haben, welches besteht, sobald eine Kraft sich in eine andere verwandelt. Weiter versuchte Mayer, das mechanische Aequivalent der Wärme auch auf mechanischem Wege zu bestimmen: aber da ihm die Mittel zum Anstellen von Experimenten fehlten, so beschränkte er sich darauf nach seiner Theorie die Thatsache zu prüfen, dass sich das Wasser in den sogenannten Holländern der Papiermühlen dadurch erhitzt, dass es durch einige Pferdekräfte in beständiger Bewegung erhalten wird. Endlich wendete er mit genialem Geschicke alle diese Begriffe auf die Mechanik lebender Körper an: aber seine Ideen schienen damals so sonderbar, dass ihr Urheber als Thor behandelt wurde, und er die grösste Noth hatte, um seine Aufsätze in der damaligen periodischen Presse anzubringen. Dennoch liess er sich nicht entmuthigen, sondern übertrug sein Princip auch auf die Mechanik des Himmels, und eröffnete somit ein ungeheueres Feld für dessen Anwendungen, bei denen auch wir längere Zeit verweilen werden.

Wenn man Mayer's Originalabhandlung liest, so staunt man über die Zuversicht, mit welcher er seine Ueberzeugung kundgiebt; und man muss gestehen, dass die Physiker, welche den von Mayer eröffneten Weg weiter verfolgt haben, nur die Erläuterer seiner tiefsinnigen Ideen geworden sind. Aber eine Ausdrucksweise, welche mit dem Sprachgebrauche der Mechanik nicht recht stimmte, und der Mangel an neuen Versuchen waren die Ursache, dass diese epochemachende Arbeit von vielen Physikern nicht beachtet wurde. Glücklicherweise wurden die Geheimnisse der Natur, wie sie von dem Arzte aus Heilbronn mit jener seinem Volke eigenthümlichen Verstandesschärfe enthüllt waren, durch einen praktischeren Mann bestätigt und weiter erforscht, in einer Weise, die den Bedürfnissen der modernen Wissenschaft besser genügt. Der Engländer Joule stellte sich die Aufgabe mit aller Schärfe zu bestimmen, in welchem Verhältnisse sich die mechanische Bewegung in Wärme verwandelt. Bei seinen Versuchen, welche er 1844 begann, versetzte er ein Flügelrad im Wasser durch ein herabfallendes Gewicht in Umdrehung; die Temperatur, welche das Wasser erreichte, liess ihn die Menge der entwickelten Wärme finden, und die Höhe, aus welcher das Gewicht fiel, gab ein Mass für die erzeugte mechanische Arbeit. Indem er nun das Verhältniss dieser beiden Grössen berechnete, bestimmte er dadurch das mechanische Aequivalent der Wärme. Dieser Versuch war im Grunde nicht verschieden von einem andern, den Rumford viel früher angestellt hatte, und besonders war er nur eine genaue Untersuchung der von Mayer beobachteten Thatsache, dass sich das Wasser in den Holländern der Papiermühlen durch mechanische Thätigkeit erhitzt: aber er hatte den Vorzug, dass er mit Sorgfalt ausgeführt war und die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich zog. Joule zeigte noch, dass man mit Quecksilber denselben Werth erhält: und somit bewies er, dass dieser Werth von dem bewegten Stoffe unabhängig ist. Die so formulirte Frage wurde in der kürzesten Zeit unter allen möglichen Formen studirt und aus ihr ging eine vollständige Theorie der gebräuchlichsten Maschinen hervor.

Durch diese hochwichtigen Resultate verleitet gingen einige Gelehrte in ihren Hypothesen über die Natur dieser molecularen Bewegung leider über das richtige Ziel hinaus. Man griff die Ansichten Fresnel's über den Aether heftig an und sträubte sich das Vorhandensein eines unwägbaren Mittels anzuerkennen; man meinte,

der Begriff der wägbaren Materie genüge um alle Erscheinungen zu erklären, sogar die Ausbreitung des Lichtes. So verfiel man in die Emissionstheorie zurück; man nahm gar keinen unwägbaren Grundstoff an und meinte irriger Weise, dass alles Stoffliche zugleich wägbar sein müsse. Wir werden an geeigneter Stelle über dieses System, welches unmittelbar aus der mechanischen Wärmelehre hervorgeht, sprechen.

Weiter sieht eine ziemlich zahlreiche und sehr achtenswerthe Schule die Wärme nicht als einen Stoff an, sondern als eine Kraft, d. h. als ein Bewegungsprincip von besonderer Art (ähnlich wie die Schwerkraft), durch welches alle Erscheinungen der Wärme bewirkt werden. Diese Schule nimmt an, dass alle Wärmeerscheinungen in einem Austausch von Arbeit zwischen den Körpern bestehen; das mechanische Aequivalent der Wärme ist ihr eine feststehende Thatsache. Man kann den Anstrengungen dieser Schule Beifall zollen insoweit, als sie auf die Erscheinungen der Wärme die Methode anwendet, welche von den Mathematikern beim Studium der Himmelserscheinungen angewendet wurde: sie sucht die Gesetze derselben auf, ohne die Natur des Grundprincips zu analysiren. Aber wenn dies auch für die reine und angewandte Mathematik genügt, so ist es in der Physik ein anderer Fall. In der That sucht sich der Physiker nicht nur eine klare Vorstellung von den Wirkungen einer Kraft und den Gesetzen, nach denen sie wirkt, zu verschaffen, sondern er bemüht sich auch, die Natur dieser Kraft selbst kennen zu lernen. Ihm bietet die Schwerkraft selbst noch jetzt ein weites Feld der Ueberlegung dar, denn wir wissen nichts über den Ursprung derselben, trotzdem dass uns ihre Gesetze vollständig bekannt sind.

Wenn wir daher die Principien der wahren Naturphilosophie befolgen wollen, so müssen wir uns des Ausspruches erinnern, den Huyghens [1]) that: „Die Ursachen aller Naturerscheinungen müssen als mechanische Thätigkeit aufgefasst werden, wenn wir nicht von vornherein die Hoffnung auf ein Verständniss der natürlichen Dinge aufgeben wollen". Deshalb müssen wir versuchen, „ob es möglich ist, die Erscheinungen der Wärme auf einen einfachen Aus-

[1]) Tractatus de lumine. Amsterdam 1827, p. 2. Omnium effectuum naturalium causae concipiuntur per rationes mechanicas, nisi velimus omnem spem objicere aliquid in physicis intelligendi. S.

tausch von Bewegung zwischen den Körpern zurückzuführen, ohne zu einem anderen Princip unsere Zuflucht zu nehmen: es müsste denn das Ungenügende einer ähnlichen Erklärung vollständig bewiesen sein".

Wenn wir die Wärme als eine Bewegung ansehen, so hindert dies nicht sie mit dem Namen einer Kraft zu bezeichnen, indem wir unter diesem Worte nur die Ursache einer Bewegung verstehen, mag dieselbe bestehen, worin sie wolle. Die Mehrzahl der Einwendungen, welche gegen die mechanische Theorie der Kräfte erhoben wurden, entspringen aus dem Missverständnisse des Wortes Bewegung. Dass dieses Wort ein Doppelsinn hat, ersieht man aus den nachfolgenden Betrachtungen. Man kann jede Veränderung der Lage eines Körpers nur in Bezug auf seine Umgebung betrachten, und dann darf man noch nicht davon sprechen dass er selbst in einen besonderen Zustand gerathen sei: es kann sich z. B. seine relative Lage dadurch geändert haben, dass nicht er selbst sich bewegt hat, sondern die ihn umgebenden Körper. Wenn wir dagegen die wahre Ortsveränderung, welche der Körper selbst in Wirklichkeit ausführt, in's Auge fassen, so verbinden wir damit die Vorstellung von einer Geschwindigkeit, welche der Körper selbst besitzt, vermöge welcher er in einer gewissen Zeit einen Raum durchläuft, und welche die Wirkung einer bestimmten Ursache, einer bestimmten Kraft ist. Wenn wir daher von einer Masse sprechen, welche sich mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt, so ist dies mehr als eine einfache Bewegung, es ist eine Kraft im weitesten Sinne des Wortes. Wenn eine Masse in Bewegung gesetzt ist, so ist sie in der That im Stande, eine Wirkung hervorzubringen, welche eben so gross ist, als die Kraft, welche nöthig war, um ihr die Bewegung, die sie besitzt, zu ertheilen. Sie kann mithin einen äusseren Widerstand überwinden und dadurch eine wirkliche Arbeit im mechanischen Sinne des Wortes verrichten. Diese Arbeit heisst der mechanische Effect der Kraft; sie wird gemessen durch das halbe Product aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit, welche Grösse man als lebendige Kraft bezeichnen kann. Es möge hier ein Bruchstück aus den Schriften von Poncelet folgen. „Wenn ein Körper in Bewegung „gesetzt ist, so kann ein gewisser mechanischer Effect (die lebendige „Kraft) von Neuem eine Ursache oder Quelle der Arbeit werden . . . „Ist die Trägheit einmal überwunden, so ist sie im Stande, die

„Menge der aufgewendeten Arbeit wieder zu ersetzen, in derselben „Weise, wie eine Feder, welche gespannt wurde. Kurz, die Träg- „heit verwandelt die mechanische Arbeit in lebendige Kraft und „speichert sie auf wie eine Feder, so dass in Wirklichkeit die leben- „dige Kraft zu jeder Zeit in Arbeit umgesetzt werden kann.“ Und „weiter: „Die Trägheit dient dazu, die Arbeit der Motoren aufzu- „speichern, indem sie dieselbe in lebendige Kraft verwandelt, um „sie später vollständig wieder zu ersetzen, wenn die lebendige Kraft „durch die Widerstände vernichtet ist“.

Die Ausdrücke Arbeit und mechanischer Effect, lebendige Kraft und Masse, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt, können also für einander gesetzt werden. Mit dem Namen der lebendigen Kraft bezeichnet man in der Mechanik die totale Wirkung aller mehr oder weniger lange andauernden Impulse, welche einem Körper während einer gewissen Zeit ertheilt werden; man misst diese Kraft durch die mit dem Quadrate der Geschwindigkeit multiplicirte Masse.

Folglich kann man den Effect einer Kraft in den einer andern durch Rechnung verwandeln und die Grösse der mechanischen Arbeit, welche jede leistet, auffinden, wenn man die Masse und die Geschwindigkeit eines durch sie bewegten Körpers kennt; man hat also ein Mittel, eine Arbeit in eine andere zu verwandeln, oder an Stelle einer in Bewegung befindlichen Masse eine andere äquivalente zu setzen. So kann man z. B. eine fortschreitende Bewegung in eine rotirende oder schwingende verwandeln, und so setzt sich die Arbeit eines Mannes, welcher eine Glocke läutet, in Schwingungen der Luft um, die den Ton erzeugen.

Wir werden also die Bewegungen eine Kraft nennen, ohne befürchten zu müssen, dass wir das Wort insofern missbrauchen, als wir die Ursache mit der Wirkung verwechseln; denn die Begriffe von Kraft und Bewegung unterscheiden sich nicht ihrem Wesen nach sondern nur durch die Verhältnisse, unter denen sie auftreten. Eine Masse, welche eine gewisse Arbeit in sich aufgenommen hat, um in Bewegung zu gerathen, kann selbst ihrerseits wieder Kraft werden und eine Arbeit verrichten. Wir werden also suchen müssen, alle Erscheinungen auf einfachen Austausch und Zusammensetzung von Bewegungen zurückzuführen, und wir nehmen diesen Austausch als eine allgemein gültige Thatsache an, für welche der Grund in der Natur des Stoffes selbst liegt.

Wenn wir daher die Wärme als eine Bewegung bezeichnen, so hindert dies nicht, dass wir sie zugleich als eine wirkliche Kraft ansehen und ihre Wirkungen berechnen. Die Wärme bringt verschiedene Arten von Bewegung hervor; andererseits können sich die gewöhnlichen Bewegungen der Materie in Wärme verwandeln, und umgekehrt. Wir müssen diesen Gegenstand etwas ausführlicher behandeln und die Widerstandskräfte, welche die Wärme in den Körpern überwinden muss, genauer kennen lernen, d. h. also, die verschiedenen Arten von Arbeit näher bestimmen, welche sie verrichtet.

KAPITEL III.

Verwandlung der Bewegung in Wärme.

Ein alter Satz sagt: Bewegung erzeugt Wärme. Wir haben schon gesehen, welche Thatsachen die Physiker darauf führten, die Wärme als eine Bewegung anzusehen; aber es genügt nicht ganz allgemein auszusprechen, dass man es mit Stoff und Bewegung zu thun hat: es kommt darauf an, die Art der Verwandlung der einen Art von Bewegung in die andere genau zu bestimmen.

Auf den ersten Blick scheint die Sache ziemlich schwierig: denn bei der gewöhnlichen Bewegung in Folge eines Stosses und bei den Kräften selbst handelt sich Alles um das Mass der Masse und der Geschwindigkeit, bei der Wärme dagegen sieht man nichts dem Aehnliches, sie wird nur mit Hülfe der Ausdehnung eines Körpers gemessen. Welche Beziehung besteht z. B. beim Thermometer wohl zwischen diesen beiden, augenscheinlich so verschiedenen Erscheinungen? Wenn eine solche Beziehung besteht, so muss sie sicherlich schwer zu finden sein; denn wir können weder die unendlich kleinen Massen der durch die Wärmeschwingungen erschütterten Molecüle, noch die von ihnen durchlaufenen Wege genau bestimmen. Diese Schwierigkeit besteht wirklich, und sie hat die Fortschritte der mechanischen Wärmelehre ziemlich lange aufgehalten; um ihretwillen gingen Einige sogar so weit, die Vibrationstheorie an und für sich für unzureichend zur Begründung der Wärmelehre zu erklären.

Aber in anderen Theilen der Mechanik fehlt es nicht an Beispielen, in denen fortschreitende Bewegung sich in schwingende Bewegung verwandelt, und diese Beispiele können uns Aufschluss über

unsere Frage geben. Betrachten wir z. B. die Entstehung des Schalles durch eine Glocke: hier erlischt die lebendige Kraft des Hammers, indem sie die Schwingungen des tönenden Körpers erzeugt. Es ist nicht leicht, das Verhältniss zwischen der Grösse der Schwingungen der Glocke und der Stärke des Schalles aufzustellen[1]), aber man könnte mit Hülfe eines geeigneten mikrometrischen Verfahrens die Ausdehnung bestimmen, welche der Schlag in der Glocke selbst erzeugt. Man weiss, dass die Glocke unter dem Einfluss des Stosses in der That ihre Gestalt ändert und dass ihr Umfang an Stelle der Kreisform, die er hatte, elliptische Gestalt annimmt, so wie dass die Körper, welche mit einer schwingenden Glocke in Berührung gerathen, fortgeschleudert werden. Eine solche Formveränderung ist im Ganzen gleichbedeutend mit einer Ausdehnung des Körpers in der Weise, dass die Glocke beim Tönen in Berührung mit einer Spitze C (Fig. 1) gerathen kann, welche sie in der Ruhelage nicht berührte.

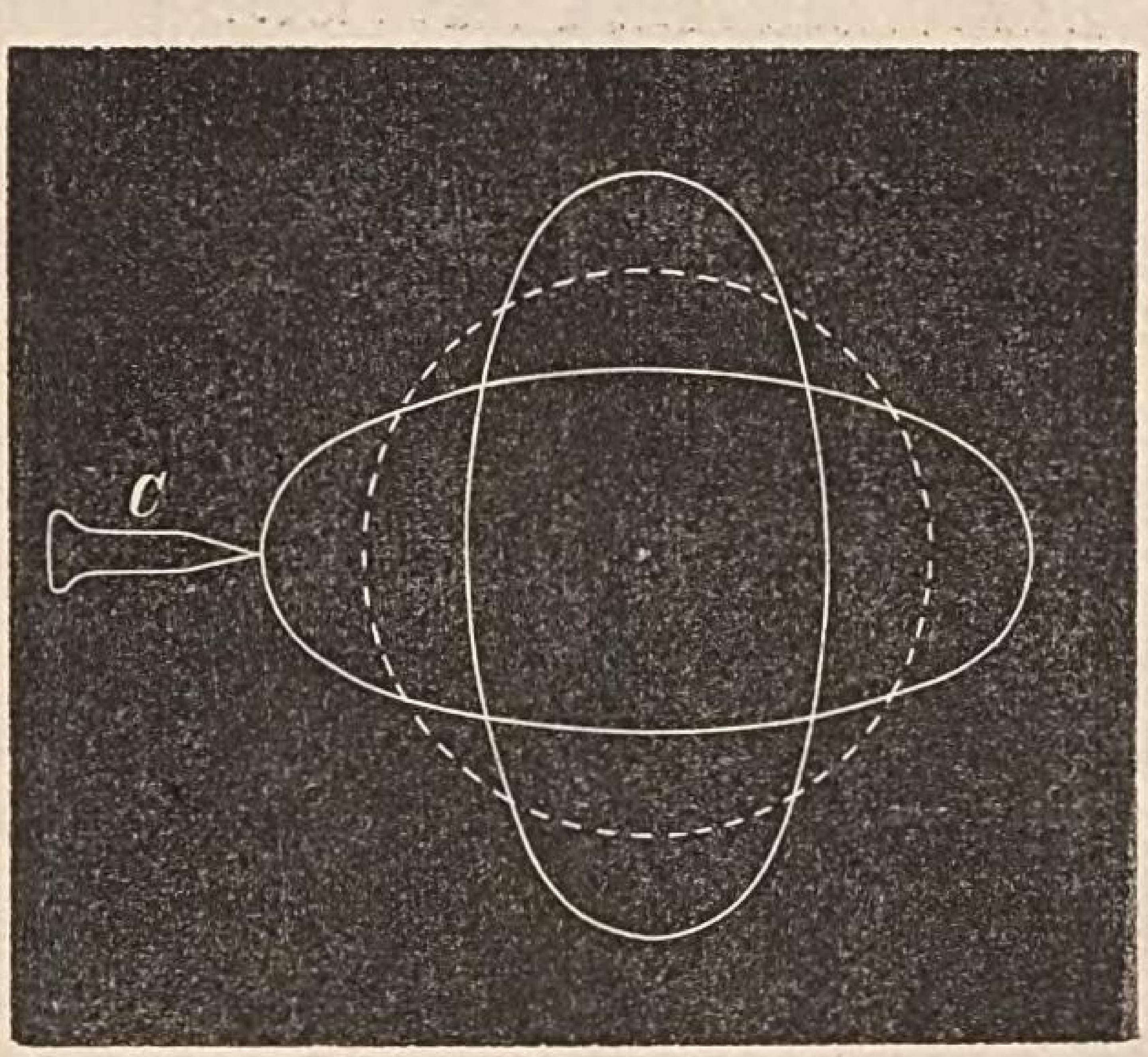


Fig. 1.

Jedes Molecül eines Körpers, der durch den mechanischen Stoss einer in Bewegung befindlichen Masse in Bewegung versetzt ist, geräth in Schwingungen, wie die Glocke, und braucht daher für seine Oscillationen mehr Raum: indem es auf die benachbarten Theilchen stösst und sie fortdrängt, muss sich daher das ganze System ausdehnen. Aber so einfach auch die Messung der Schwingungsweiten in dem Falle sein würde, dass ein einziger Körper in seiner ganzen Ausdehnung in Schwingung geräth, so schwierig ist sie für ein

[1]) Einige Versuche, welche Alfred M. Mayer im Jahre 1874 anstellte, verdienen hier erwähnt zu werden. Derselbe versetzte eine Stimmgabel durch eine bestimmte mechanische Kraft in Schwingungen, liess sie aber durch einen zwischen den Zinken ausgespannten Kautschukstreifen dämpfen und mass die Temperaturerhöhung, welche letzterer dabei erfuhr. Auf diese Weise konnte er ermitteln, welche Wärmemenge durch das Erlöschen der Schallbewegung entwickelt wurde, und dafür den mechanischen Effect durch Rechnung bestimmen. S. Amer. Journ. of Science, Ser. 3, Vol. VIII, No. 47, Nov. 1874, p. 362. Sch.

Aggregat, das aus einer unendlichen Zahl von Molecülen besteht; und der einzig mögliche Weg ist der, dass man die Ausdehnung des Volumen bestimmt, welche durch einen Stoss von bestimmter Grösse bewirkt wird.

Wenn man die Molecüle eines Körpers in Schwingung versetzt, so hat man oft innere Widerstände von unbekannter Grösse zu überwinden, wie dies z. B. bei festen und tropfbar flüssigen Körpern der Fall ist; oder man hat wenigstens die Trägheit der Molecüle zu überwinden, wenn dieselben frei beweglich sind, wie in den Gasen. Dies erfordert eine gewisse Arbeit und es ergibt sich daher nothwendig die Aufgabe zu bestimmen, welcher lebendigen Kraft des stossenden Körpers die innere Arbeit gleichwerthig ist, die für eine Ausdehnung des Volumen um eine bestimmte Grösse erfordert wird. Mit anderen Worten: man muss untersuchen, welche lebendige Kraft von Seiten des stossenden Körpers nöthig ist, um eine bestimmte Spannung der Wärme hervorzubringen und zugleich eine gewisse Steigerung der Temperatur zu bewirken.

Wird die Frage in dieser Weise gestellt, so sieht man, dass zwischen den gewöhnlichen mechanischen Kräften und den Mengen der entwickelten Wärme ein Verhältniss bestehen muss: dieses Verhältniss heisst das mechanische Aequivalent der Wärme, seine Umkehrung aber das Wärmeäquivalent der mechanischen Kraft.

Dies sind im Allgemeinen die Vorstellungen, welche zur Bestimmung dieser beiden Verhältnisse führen. Da eine Kraft weder geschaffen werden noch verschwinden kann, so muss sich nothwendig die lebendige Kraft an den beiden Endpunkten, zwischen welchen der Austausch dieser Bewegung stattfindet, als gleich ergeben. Folglich ist die den Körpern mitgetheilte lebendige Kraft das natürliche Mass für die Menge der Wärme in der Weise, dass derselben lebendigen Kraft immer dieselbe Menge der erzeugten Wärme entspricht. Mit anderen Worten, das mechanische Aequivalent der Wärme ist für alle Stoffe constant.

Damit soll nicht gesagt sein, dass die durch die Wärme bewirkten physikalischen Vorgänge in allen Körpern immer dieselben seien: im Gegentheil werden sie verschieden sein nach der Arbeit, welche im Innern dieser Körper auszuführen ist, und nach den Widerständen, welche zu überwinden sind. So sind die Ausdehnungen und selbst die Temperaturveränderungen nicht in allen Körpern gleich, wenn ihnen dieselbe lebendige Kraft mitgetheilt wird, sondern sie

richten sich nach dem Zusammenhalte der Molecüle, welcher überwunden werden muss, so dass sogar der Fall eintreten kann, dass die ganze äussere Arbeit aufgewendet wird, um diesen inneren Zusammenhang zu zerstören. Hieraus erklärt es sich nunmehr, warum für die verschiedenen Körper verschiedene Wärmemengen erforderlich sind, um sie auf dieselbe Temperatur zu bringen, d. h. warum die Körper verschiedene Wärmecapacität besitzen (Kap. I, No. 2), und weiter, warum sich die Temperatur nicht ändert während der ganzen Zeit, dass eine Masse aus einem Zustande in einen andern übergeht (ibid., No. 4); und so verhält es sich mit anderen Erscheinungen aus der Wärmelehre, welche wir jetzt nicht alle aufzählen wollen. Man sieht, dass hier dieselbe Erscheinung eintreten muss, die man bei Glocken beobachten kann, dass nämlich derselbe Schlag des Hammers nicht in allen gleiche Schwingungen hervorruft, wiewohl er allen dieselbe lebendige Kraft ertheilt. Man muss daher die lebendige Kraft, welche der ganzen Masse mitgetheilt wird, wohl von derjenigen unterscheiden, welche auf jedes einzelne Molecül übergeht. Es kann vorkommen, dass jedem Molecüle nur eine geringe lebendige Kraft mitgetheilt werde, obgleich die auf den Körper wirkende lebendige Kraft sehr bedeutend ist, wenn nämlich die zu bewegende Masse oder die zu leistende Arbeit sehr gross ist. Fasst man die einzelnen Molecüle für sich in's Auge, so wird deren lebendige Kraft das natürliche Mass für die Temperatur sein: denn aus dieser Kraft lässt sich die Arbeit herleiten, die sie zu leisten im Stande sind, und letztere in ihrer Gesammtheit ergiebt die Temperatur des Körpers, dessen Theile sie ausmachen.

Die Vibrationstheorie der Wärme konnte demnach wohl zu zahlreichen Folgerungen führen, welche sich durch geeignete Versuche in der Folge bestätigen liessen: allein die Forschung ist in ihrem Fortschreiten diesen Untersuchungen lange fern geblieben und die Experimentatoren haben einen anderen Weg eingeschlagen; oder wenn sie durch diese Ideen geleitet wurden, so haben sie es wenigstens nicht in klaren Worten ausgesprochen. Wie dem auch sei, so hat die Erfahrung alle theoretischen Folgerungen, auf welche wir oben hindeuteten und deren jede wir später entwickeln werden, bestätigt.

Während die Idee des mechanischen Aequivalentes von Mayer herrührt, so war Joule der Erste, der in aller Strenge zu bestimmen

suchte, welcher, in Meterkilogrammen ausgedrückten Arbeit eine Calorie entspricht; d. h. er bestimmte, wie viele Kilogramme auf eine gewisse Höhe durch eine Kraft gehoben werden, die, durch mechanische Thätigkeit erzeugt, 1 Kilogramm Wasser in gleicher Zeit von 0° bis 1° C. zu erwärmen vermag. Joule bestimmte dieses Verhältniss durch Versuche mit der oben erwähnten Maschine, bei welcher ein in Wasser eingetauchtes Rad durch den Fall eines Gewichtes in Bewegung gesetzt wird. Der alltäglichen Meinung entgegen, fand er, dass die Flüssigkeiten sich durch Reibung erwärmen, und, trotzdem dass die entwickelte Wärme sehr klein ist, gelang es ihm doch, Dank der Empfindlichkeit seiner Instrumente, zu zeigen, dass zur Erzeugung einer Calorie eine Arbeit von 425 Meterkilogrammen erforderlich ist. [1]) Sehr wichtig ist die Thatsache, dass die Versuche, bei welchen Quecksilber an Stelle des Wassers angewendet wurde, zu demselben Resultate führen. In Anbetracht der geringen Wärmecapacität dieses Metalles erwärmte es sich zwar stärker als das Wasser und seine Temperatur stieg schneller: allein, wenn man mit Rücksicht auf jene Wärmecapacität die Reduction auf die thermodynamische Einheit, nämlich auf die vom Wasser hergeleitete Calorie, ausführte, so kam man zu demselben Werthe des mechanischen Aequivalentes.

Diese Kraft ist sehr bedeutend: sie kommt sechs Pferdekräften gleich, so dass, wenn man alle Kraft einer Maschine der angegebenen Stärke auf die Erwärmung von 1 Kilogramm Wasser verwenden wollte, sich dieses in jeder Zeitsecunde um nur einen Grad erwärmen würde. Im Allgemeinen, wenn alle die Kraft, welche 1 Kilogramm Wasser in irgend welcher Zeit auf die Höhe von 425 Meter heben kann, zur Temperaturerhöhung derselben Wassermasse aufgebracht würde, so würde sie in derselben Zeit eine Aenderung von nur 1° C. bewirken. Nach diesem Principe construirte man später Maschinen, in denen man den Fall des Wassers benutzte, um diese Flüssigkeit selbst durch die entwickelte mechanische Kraft in Dampf zu verwandeln. Aber man erkannte, dass

[1]) Unabhängig von Joule hatte Bianconi in Italien die Erwärmung der Flüssigkeiten durch Bewegung nachgewiesen. Die Seeleute wissen längst, dass das Meer nach einem Sturme wärmer ist. Anfangs fand Joule einen von 425 Meterkilogrammen etwas verschiedenen Werth: wir wollen aber sogleich diese Grösse anwenden, die er selbst später durch genauere Versuche feststellte. S.

diese Maschinen wegen der Grösse des mechanischen Aequivalentes der Wärme praktisch unbrauchbar sind, und dass es besser ist, sie nur zu benutzen, um Luft zusammenzudrücken, dann aber diese comprimirte Luft an Stelle des in der früheren Weise entwickelten Dampfes als Motor zu gebrauchen.

Nach der Meinung der früheren Physiker war sehr starke Reibung und eine sehr rauhe Oberfläche zur Entwickelung der Wärme durch mechanische Thätigkeit erforderlich. Doch wenn die Unebenheiten bei den gewöhnlichen Maschinen auch den Verbrauch an bewegender Kraft vergrössern, während sie eine grössere Menge von Wärme an den Stellen erzeugen, welche nicht genügend geölt sind,

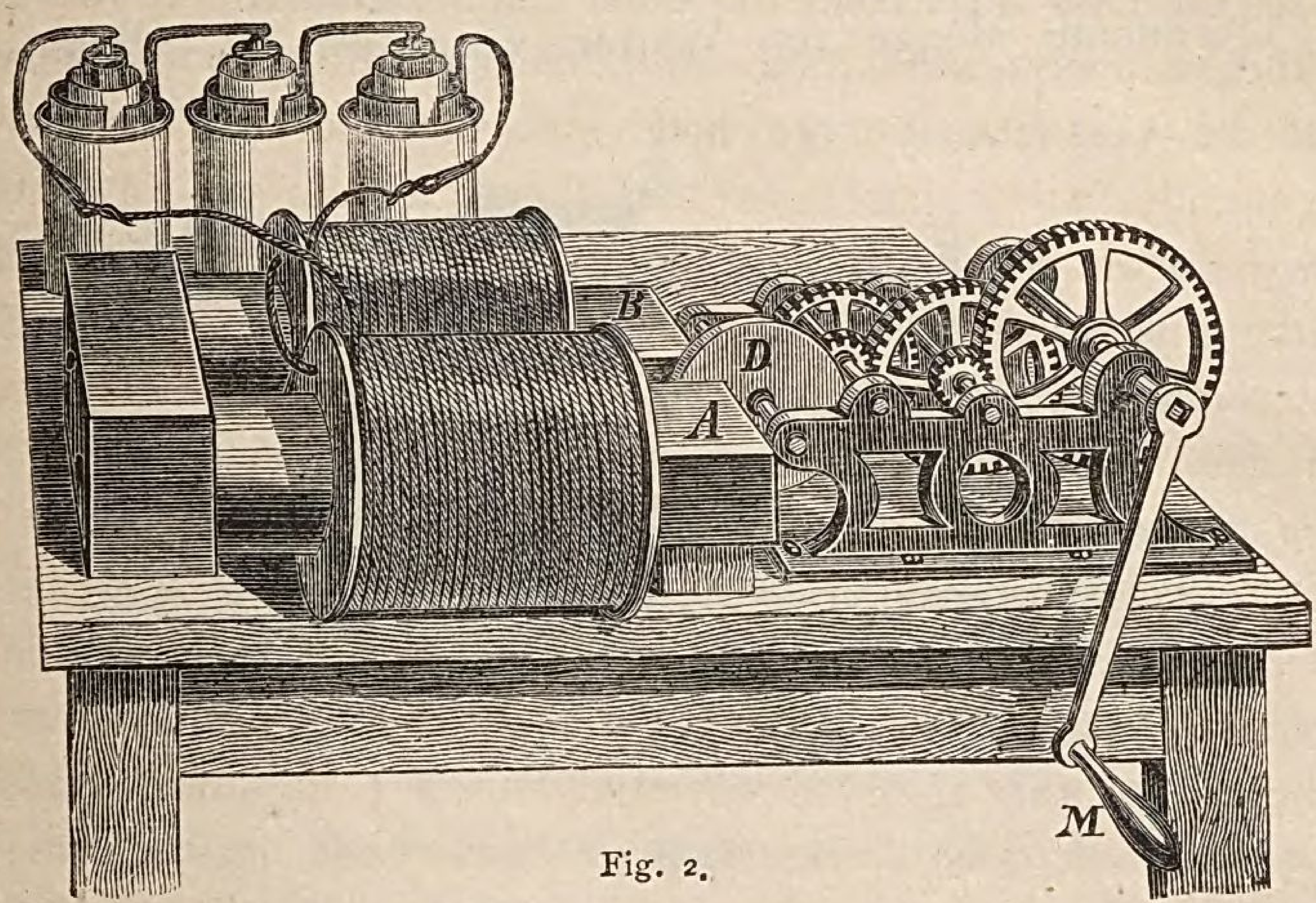


Fig. 2.

so sind diese Unebenheiten doch gar nicht erforderlich, sondern jede Maschine entwickelt Wärme trotz der Fette, die man anwendet um ihre schnelle Abnutzung zu verhindern. In gleicher Weise hat Joule und später Foucault gezeigt, dass sich die mechanische Kraft in Wärme verwandeln kann, wenn sie irgend einen Widerstand überwindet, ohne dass sich die Flächen berühren. Dreht man mit Hilfe der Kurbel M (Fig. 2) eine Kupferscheibe D zwischen den beiden, der Scheibe sehr genäherten Polen A und B eines kräftigen Elektromagneten, so erhitzt sich die Scheibe so stark, dass es unmöglich ist sie mit der Hand anzufassen; gleichzeitig muss man aber eine sehr bedeutende mechanische Kraft anwenden, um sie in Bewegung zu versetzen. Berechnet man diese Kraft nach Meter-

kilogrammen, so erhält man wieder dieselbe Zahl, welche wir oben als Werth des mechanischen Aequivalentes der Wärme anführten.

Jedesmal, wenn ein in Bewegung befindlicher Körper auf einen anderen stösst, entwickelt sich Wärme: so ist es eine bekannte Thatsache, dass das Eisen unter den Hämmern der Schmiede länger in Gluth bleibt, als wenn man es ruhig an der Luft liegen lässt. Die Platten der Panzerschiffe werden rothglühend, wenn sie von den Kugeln aus den ungeheueren Kanonen, die man jetzt anwendet, getroffen werden. Jede herabfallende Wassermasse entwickelt Wärme, und deshalb friert fliessendes Wasser schwerer, als stillstehendes. Man meint gewöhnlich, dass in allen diesen verschiedenen Fällen die Bewegung vernichtet sei, während sie in Wirklichkeit nur in eine äquivalente Menge von Wärme verwandelt ist. Dass durch

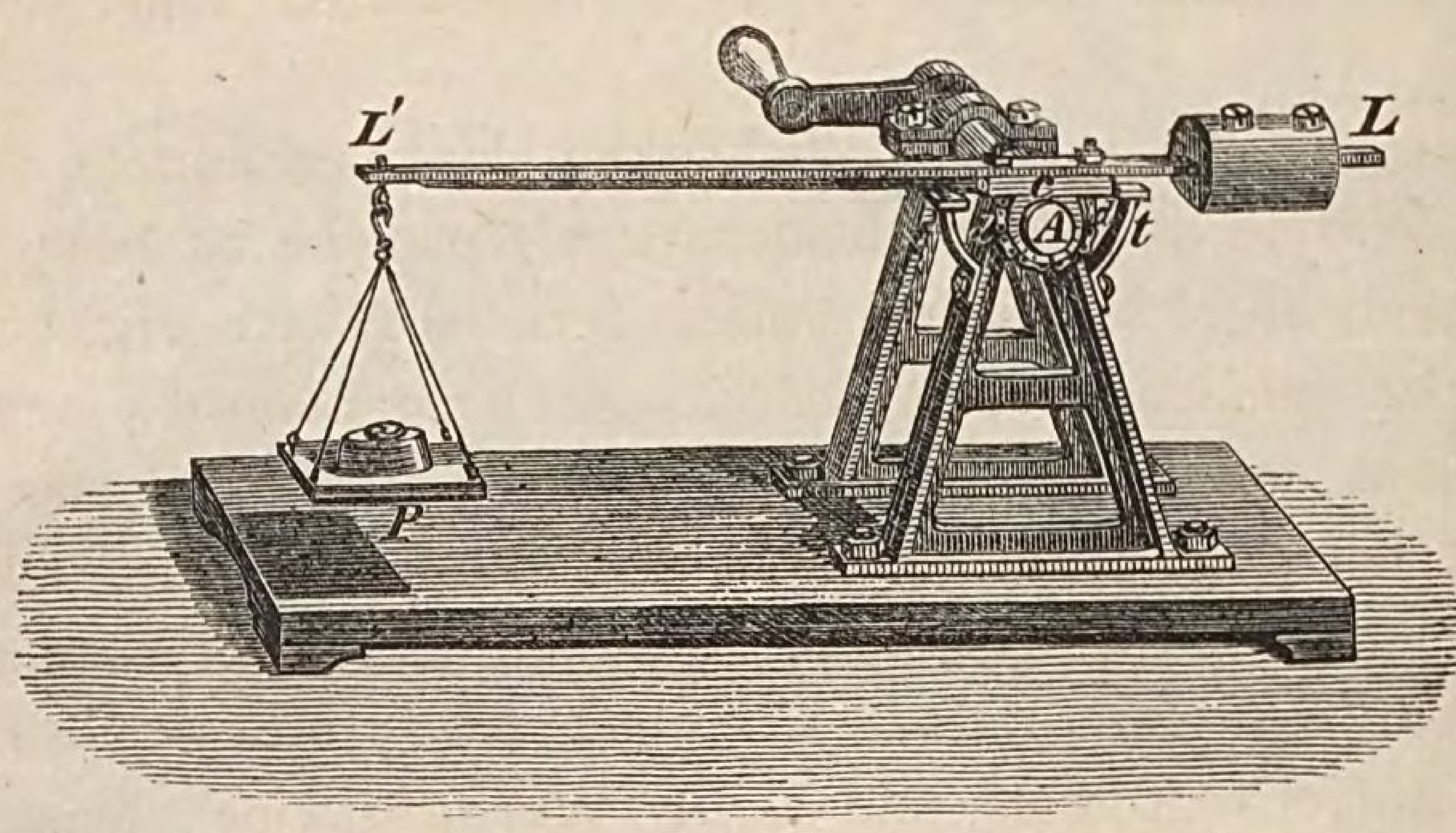


Fig. 3

die Schwerkraft Wärme entwickelt wird, lässt sich durch Versuche mit hydraulischen Motoren in Verbindung mit dem Prony'schen Zaum [1]), so zu sagen, handgreiflich darthun. Befestigt man den

[1]) Der Prony'sche Zaum (Fig. 3) besteht in einem Hebel LL', der mit einer Wulst auf der Axe A des Motors aufliegt, und durch eine Kette dd an ihr befestigt ist. Diese Kette besteht aus Gliedern aus Eisenblech, die im Innern mit Holzklötzchen ausgefüttert sind, welche sich an den unteren Theil der Welle anlegen; sie ist an dem Hebel durch Schrauben befestigt, so dass sie eine Art Zange bildet, welche die Axe des Motors fest packen kann. Am Ende des Hebels befindet sich eine Schale P zur Aufnahme von Gewichten.

Die Techniker haben folgende Theorie des Prony'schen Zaumes aufgestellt. Wenn der Hebel im Gleichgewichte ist, so sind die Momente gleich, d. h. das Product des Hebels und seines Gewichtes p ist gleich

Prony'schen Zaum auf der Axe eines solchen Motors, ohne die Schrauben anzuziehen, so ruht der belastete Hebel mit seinem Ende auf dem Boden und gleitet auf der Axe; drückt man aber durch Anziehung der Schrauben den Zaum gegen die Welle, so wird der Hebel gehoben und bleibt bei genügender Belastung horizontal, trotzdem dass ihn der Motor weiter zu drehen sucht mit einer Kraft, die der Masse des herabfallenden Wassers proportional ist. Indem nun diese Arbeit am Umfange der Axe geleistet wird, erhitzen sich die Holzklötzchen des Zaumes in hohem Grade und würden bald Feuer fangen, wenn man sie nicht immer mit kaltem Wasser anfeuchtete. Favre ersann hierzu eine Vorrichtung, welche ihm gestattete, die Menge der Wärme zu berechnen, in welche sich bei diesem Versuche die mechanische Kraft verwandelt, und fand einen Werth, welcher sich dem oben angeführten sehr auffällig näherte.

Es war von der grössten Wichtigkeit das mechanische Aequivalent der Wärme durch verschiedenartige Versuche zu bestimmen, um zu wissen, ob sich in allen Fällen derselbe Werth ergiebt. So hat Hirn den einfachen Stoss der Körper dazu benutzt, indem er einen Apparat construirte, der dem ballistischen Pendel, das man gewöhnlich bei den Versuchen über den Stoss anwendet, ähnlich war. Die einander stossenden Gewichte waren: 1) der sogenannte Widder, ein schwerer Holzbalken, welcher an verticalen Stricken horizontal aufgehängt war, und 2) der Amboss eine ebenso befestigte Steinmasse. Beide Massen waren an ihren Enden mit Eisen beschlagen und zwischen ihnen befand sich eine Bleimasse, die eine Höhlung besass, in welche vor und nach dem Stosse ein Thermometer eingelassen wurde. Dieser Apparat gestattete die lebendige Kraft beim Falle und beim Rückpralle der Massen mit genügender

dem Producte aus der Reibung f und dem Radius der Welle r. Hieraus ergiebt sich die Gleichung: $pl = fr$, also auch $2\pi pl = 2\pi fr$. Die rechte Seite dieser Gleichung drückt aber die Arbeit der Maschine aus (Widerstand $f \times$ durchlaufenden Weg $2\pi r$), folglich ist auch die linke Seite ein Ausdruck für die Kraft der Maschine. Aber die Arbeit beim Ueberwinden der Reibung entwickelt genau die Wärmemenge, welche dem Wärmeäquivalente der Kraft entspricht. Mithin ist die Zahl der entwickelten Calorien gleich dem Producte aus der Zahl der Meterkilogramme $2\pi pl$ und $\frac{1}{425}$, dem Wärmeäquivalent eines Meterkilogrammes, also $= \frac{2\pi pl}{425}$. S.

Schärfe zu bestimmen und daraus zu berechnen, wie viel davon verloren gegangen war, d. h. sich in Wärme verwandelt hatte. Nach mehreren derartigen Versuchen fand man für das mechanische Aequivalent der Wärme einen Werth, der 425 Meterkilogrammen sehr nahe kam.

Andere Versuche über die Condensation der Dämpfe, über das Strecken des Eisens, über die Reibung des Gusseisens u. s. w. [1] haben einen Werth von 432 Meterkilogrammen ergeben. Zeuner hat alle diese Resultate genau untersucht und als endlichen Werth für die Arbeit, welche einer Calorie entspricht, A = 425 Meterkilogrammen angenommen. Bezeichnen wir also die geleistete Arbeit, in Meterkilogrammen ausgedrückt, mit L, die aufgewendete Wärme mit Q, wobei wir die Calorie als Einheit nehmen, so besteht die Gleichung:

$$L = 425\, Q \text{ oder } Q = \frac{1}{425} L.$$

Wenn schliesslich die sichtbare Bewegung, welche die zwei mechanisch wirkenden Körper besassen, verschwindet, so dürfen wir nicht vergessen, dass dafür eine Bewegung der Molecüle eintritt, die zwar nicht sichtbar ist, gleichwohl aber in Wirklichkeit besteht und die Temperatur des Körpers bestimmt. Diese Bewegung besteht in sehr kleinen Schwingungen der Molecüle: sie ist im Wesentlichen das, was wir Wärme nennen und was in uns die Empfindung der Wärme hervorruft. Kein Körper ist frei von Wärme: mithin ist auch keiner frei von diesen Schwingungen. Wären dieselben in irgend einem Körper erloschen, so würden wir sagen, dass seine Temperatur auf den absoluten Nullpunkt gesunken ist; und wenn wir nun die Temperatur von diesem Punkte aus zählen, so nennen wir die Angaben die absolute Temperatur, über welche wir uns jetzt näher erklären wollen.

Unsere Thermometer sind nach gewissen conventionellen Temperaturen eingetheilt: beim hunderttheiligen entspricht der Nullpunkt

[1]) Hirn hat in seinem Werke über die mechanische Wärmetheorie, Paris 1862, eine lange Reihe von Zahlenwerthen, welche durch verschiedene Versuche gefunden wurden, zusammengestellt. So ergaben Versuche mit Wasser, das einem hohen Druck unterworfen wurde, 433 Meterkilogramme, der Stoss 425; durch Expansion der Dämpfe fand man als untere Grenze 423, als obere 441,6. Auch die Geschwindigkeit des Schalles lässt eine Berechnung des Wärmeäquivalentes zu. S.

der physikalischen Erscheinung des Schmelzens des Eises, der hundertste Grad dem Sieden des Wassers bei einem Luftdruck von 760 mm. Aber bei diesem Nullpunkte sind die Körper durchaus nicht aller Wärme beraubt, denn sie lassen sich ja noch weiter abkühlen. Gleichwohl muss es möglich sein bis zu einem Punkte zu gelangen, bei welchem die lebendige Kraft der Molecüle verschwindet, nachdem sie immer schwächer geworden ist, und welcher als absoluter Nullpunkt bezeichnet werden muss, und es fragt sich nur, welchem Grade unserer Thermometertheilung dieser Punkt entspricht.

Das rationellste Verfahren ihn zu bestimmen besteht wohl darin, dass man ihn von der Ausdehnung der Gase herleitet, welche die normalsten Körper sind und in deren Innerem kein Widerstand stattzufinden scheint. Die Gase dehnen sich für jeden Centesimalgrad ungefähr um $^1/_{273}$ ihres Volumen aus, folglich wird bei 273° unter dem Nullpunkt des Thermometers ihr Volumen gar nicht mehr existiren oder wenigstens auf ein so geringes Mass eingeschränkt sein, dass es gegenüber dem für die Oscilationen der Molecüle nöthigen Raum verschwindet, und dass diese vollständig aufhören. Dieser Punkt ist der *theoretische* absolute Nullpunkt. Ich sage ausdrücklich, der theoretische Nullpunkt, denn es ist wahrscheinlich, dass sich das Gesetz der Ausdehnung ändert, bevor man diese Grenze erreicht, und dann würden bei diesem Punkte die für die molecularen Schwingungen bestimmten Räume nicht verschwinden. Gleichwohl nehmen die Physiker den Werth von — 273° als absoluten Nullpunkt an: und es ist dies auch statthaft bei der Berechnung aller Versuche, bei denen sich die Gase innerhalb der Grenzen ihrer normalen Ausdehnung befinden. Wir werden sehen, dass sich die ganze Thermodynamik darauf gründet, dass diese Ausdehnungen als normal vorausgesetzt werden: ausserhalb dieser Grenzen darf man die berechneten Formeln nicht anwenden.

KAPITEL IV.

Verwandlung der Wärme in Bewegung.

Die Verwandlung der Bewegung in Wärme, oder um es allgemeiner auszudrücken, die Erzeugung von Wärme durch eine Be

wegung, wenn dieselbe aufhört sich unter ihrer gewöhnlichen Erscheinungsform kundzugeben, ist eine Vorstellung, mit der sich unser Verstand ohne Schwierigkeit vertraut macht; dagegen fassen wir nicht eben so leicht den umgekehrten Fall, wenn irgend eine Bewegung durch einen entsprechenden Verbrauch an Wärme hervorgerufen wird. Da nach der alten Theorie die Wärme in einem Stoffe besteht, so würde sie nie verschwinden können: deshalb ist es für die Begründung der neuen Theorie von der grössten Wichtigkeit jene Thatsache, nämlich den Verbrauch der Wärme zur Erzeugung von Bewegung, unzweifelhaft nachzuweisen. Dieser Nachweis aber stösst auf Schwierigkeiten mehrfacher Art.

Zwar sieht man in gar nicht seltenen Fällen, wie die Wärme Bewegung hervorruft: so sind die durch Feuer bewirkten Ausdehnungen der Körper jeder Art mechanische Bewegungen, welche die Wärme zur bestimmenden Ursache haben. Die Ausdehnungen der Luft und der festen Körper, die Explosionen der Sprengmittel, ebenso wie die gewaltige Kraft, welche durch die Dampfmaschinen ausgeübt wird, sind Wirkungen der Wärme. In allen diesen Fällen verschwindet Wärme und wird zur mechanischen Kraft.

Die Schwierigkeit besteht nun darin zu zeigen, dass bei diesen Erscheinungen ein gewisser Theil der Wärme dadurch verschwindet, dass er eine Arbeit verrichtet und einer Masse Bewegung ertheilt. Diese Bestimmung ist nicht leicht in Anbetracht der Grösse des mechanischen Aequivalentes der Wärme: denn bei einer Dampfmaschine von sechs Pferdekräften würde der Temperaturunterschied zwischen Condensator und Dampfkessel, der geleisteten Arbeit entsprechend, nur 1° C. betragen. Wie soll man dies nun genau bestimmen, zumal da die Verluste in Folge unzähliger anderer Ursachen so gross sind, dass man bei den besten Maschinen kaum 12 Procent der Gesammtwärme ausnutzt?

Daher darf man sich nicht wundern, dass man nur sehr langsam dazu gekommen ist einzusehen, dass bei der Vollendung einer Arbeit eine gewisse Wärmemenge aufgebraucht wird. In der That, wenn durch die geleistete Arbeit nicht eine Wärmemenge verloren ginge, so müsste das Perpetuum mobile im strengen Sinne des Wortes ausführbar sein.

Für diese rein theoretische Behauptung wird man in folgender Weise die experimentelle Bestätigung finden. Denken wir uns, an einer Dampfmaschine, die in gleichmässigen Gang gekommen ist,

seien geeignete Vorrichtungen angebracht, durch welche man die Temperatur des Dampfes sowohl bei seinem Eintritt in den Cylinder, als auch bei seinem Austritte aus demselben bestimmen kann: so würde die Kenntniss dieser Temperatur genügen, um die Menge der in dem Dampfe enthaltenen Wärme und folglich auch die Verluste zu ermitteln, welche er beim Durchgange durch die Maschine erlitten hat, ohne dass es nöthig ist seinen Druck oder sein Volumen zu bestimmen. Wenn nun hierbei die Menge der Wärme ungeändert bliebe, d. h. wenn bei der Ausführung der Arbeit kein Verbrauch von Wärme stattfände, so könnte der Dampf, nachdem er den Kolben bewegt hat, durch geeignet angebrachte Röhren und Recipienten geleitet und zur Erwärmung anderer Körper benutzt werden, gerade so gut, als wenn er direct aus dem Kessel käme. Mit anderen Worten: man könnte erstens aus dem Dampfe allen Nutzeffect für die Erwärmung der Körper ziehen und ausserdem noch die mechanische Arbeit von ihm leisten lassen, ohne weiteren Aufwand von Brennmaterial; folglich hätte man die Arbeit unentgeltlich. Auch würde nichts hindern, dass dieser heisse Dampf, nachdem er einen ersten Cylinder durchlaufen hätte, in den eines zweiten Motors geleitet würde, um z. B. sehr flüchtige Substanzen, wie Aether oder Schwefelkohlenstoff, in Dampf zu verwandeln und mit diesem Dampfe Maschinen in Bewegung zu setzen, so dass man Bewegung ohne Ende bekäme. In dieser Weise würde ein Perpetuum mobile ausführbar sein; denn der zweite Motor könnte durch Reibung die in den beiden Apparaten durch Strahlung verloren gegangene Wärmemenge wieder herstellen, dadurch die zufälligen Verluste ersetzen und ausserdem so viel Kraft entwickeln, als für die Reibung aufgebraucht wird. Nunmehr sieht wohl Jeder das Widersinnige dieser Hypothese ein. Nachdem wir somit die Frage theoretisch beantwortet haben, wollen wir sie durch den Versuch prüfen, indem wir untersuchen, ob der Dampf beim Eintritt in den Cylinder und beim Austritt aus demselben dieselbe Temperatur besitzt.

Dass unter den angeführten Umständen in Wirklichkeit ein Verlust an Wärme stattfindet, hat zuerst Séguin, später Hirn und Regnault bewiesen. Mit einer Dampfmaschine von 150 Pferdekräften, welche immer dieselbe Arbeit leistete, während die Dampfmengen zwischen $0,^{k}345$ und $0,^{k}469$ in der Secunde schwankten, fand Hirn einen Verlust von 38 Calorien, abgesehen von den Diffe-

renzen in den einzelnen Versuchen, welche sehr gering waren, trotz der ziemlich bedeutenden Unterschiede in der Dampfmenge, die in gleichen Zeiten die Maschine durchströmten. Bei einer anderen Reihe von Versuchen mit einem Motor von 116 Pferdekräften fand er einen Verlust von weniger als 29 Calorien. Endlich mit einer Maschine von 90 Pferdekräften wurde die Einbusse von 20 bis 21 Calorien bestimmt, während die Dampfmengen zwischen $0,^{k}190$ und $0,^{k}229$ schwankten[1]).

Regnault hat diese Versuche wieder aufgenommen und abgeändert. Bei einer Dampfmaschine, welche mit 15 Atmosphären arbeitete, fand er, dass von 653 Calorien, welche in den Cylinder eintraten, 16, d. h. $^1/_{40}$ verloren gingen; bei einer anderen 34 oder $^1/_{20}$ der Gesammtmenge[2]).

Es ist somit unzweifelhaft, dass die Arbeit oder der mechanische Effect einer Maschine einen Verlust an Wärme verursacht. Allein es ist in der That schwer, aus diesen Versuchen die Zahl abzuleiten, welche das mechanische Wärmeäquivalent darstellt, da es sehr schwer hält, die Gesammtmenge der durch den Apparat geleisteten mechanischen Arbeit zu ermitteln. Wenn man nun annimmt, dass man nur einen Bruchtheil dieser Zahl bestimmt und dass dieser Bruchtheil einen constanten Werth besitzt, so erkennt man, dass derselbe von der Menge des in Circulation begriffenen Dampfes unabhängig ist und sich nur nach der geleisteten Arbeit richtet. Die Dampfmaschine macht also nur einen ziehmlich geringen Theil der ihr zugeführten Wärme nutzbar, aber dieser durch die Arbeit aufgebrauchte Theil ist genügend gross, als dass man ihn den einfachen Verlusten durch Strahlung oder den bei derartigen Versuchen unvermeidlichen Fehlern zuschreiben könnte.

Die Reihenfolge der Erscheinungen, welche das im Innern einer Dampfmaschine eingeschlossene Wasser zeigt, macht diesen Apparat sehr geeignet festzustellen, wie sich nothwendigerweise eine bestimmte Wärmemenge in Arbeit, also in eine andere Bewegung, die in das Gebiet der Mechanik gehört, verwandelt.

Zuerst tritt das Wasser in flüssiger Form in den Dampfkessel, wo

[1]) Hirn, op. cit., p. 93.

[2]) Regnault, Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXVI, p. 676. S.

es in Dampf verwandelt wird und von wo es eine gewisse Wärmemenge mit sich forträgt; es tritt in den Cylinder und verliert dort einen Theil dieser Wärme, durch welchen es mechanische Arbeit verrichtet, und geht dann in den Condensator, in welchem es nach Verlust des Restes seiner Wärme aus Dampf wieder flüssiges Wasser wird; endlich wird dieses Wasser wieder durch eine Pumpe aufgesaugt und dem Dampfkessel zugeführt. Der Kreislauf dieser Umformungen ändert nicht die Natur der Flüssigkeit, noch ihre chemische Eigenschaften; da der Unterschied der Spannung gegeben ist, welche der Dampf in den verschiedenen Theilen seines Weges besitzt, so kann man die Aenderung der Temperatur berechnen, welche durch den mechanischen Effect im Innern der Maschine herbeigeführt wird.

Die lebenden Wesen sind wahre Dampfmaschinen, folglich müssen sie in gewisser Beziehung denselben Gesetzen unterworfen sein. Die Versuche, welche Hirn an sich selbst und an Anderen anstellte, zeigen, dass in allen Fällen, wo eine mechanische Arbeit geleistet wird, sich der Athem mehr belebt und eine grössere Menge Sauerstoff aufgebraucht wird: folglich wird auch Wärme in grösserer Fülle entwickelt. Misst man nun die Wärmemenge, welche wirklich im menschlichen Körper enthalten ist, so findet man sie auffallend geringer als diejenige, welche durch die erhöhte Verbrennung erzeugt wird. Bei einem Versuche hat Hirn einen Unterschied von mindestens 436, bei einem anderen von 330 Calorien nachgewiesen: berechnete er nach den Resultaten des ersten Versuchs die beim zweiten geleistete Arbeit, so fand er eine genügende Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung.[1]) Umgekehrt, wenn ein Mensch eine Treppe hinabsteigt, so vermehrt sich seine innere Körperwärme, denn zur organischen Arbeit kommt noch die der Schwerkraft hinzu.

Auch die Heissluftmaschine von Ericsson zeigt durch die Art ihrer Thätigkeit, dass Verlust an Wärme die Erzeugung mecha-

[1]) Hirn, op. cit., p. 83. Natürlich lässt sich im animalischen Körper der absolute Nutzeffect nicht leicht bestimmen, da es kaum möglich ist die verschiedenen inneren Arbeiten, die beim Blutumlaufe, bei der Transpiration und Verdauung u. s. w. zu leisten sind, in Rechnung zu stellen. Bei dem zuerst genannten Vorgange bildet sich auch die jedem Thiere eigenthümliche Lebenswärme, von der wir später ausführlicher reden werden.

S.

nischer Arbeit begleitet. Diese Beziehung ist heutzutage die Grundlage für jede Theorie der durch Feuer bewegten Motoren.

Die luftförmigen Körper eignen sich wegen ihrer ausserordentlichen Ausdehnsamkeit besser als alle anderen für die Untersuchungen, die uns jetzt beschäftigen: so kann z. B. die einfache Thatsache, dass sich ein Gas abkühlt, sobald es sich in der freien Luft ausdehnt, als guter Beweis dafür dienen, dass Wärme verschwindet, wenn Arbeit geleistet wird. In diesem Falle muss der luftförmige Körper den atmosphärischen Druck überwinden und sich so für sein neues Volumen Platz verschaffen; er verrichtet also eine Arbeit, und das findet statt auf Kosten seiner Temperatur. Diese Erscheinung war der Punkt, von dem Mayer bei der Entwickelung der mechanischen Wärmelehre ausging.

Auch durch die Ausdehnung fester Körper lässt sich dieses Gesetz bestätigen, doch in weniger auffälliger Weise, da die Volumenänderungen in diesem Falle sehr gering sind. Hängt man z. B. an das Ende eines Metalldrahtes, der an einem thermoelektrischen Elemente befestigt ist, ein Gewicht, so bemerkt man eine Temperaturerniedrigung in Folge der bewirkten Ausdehnung; wartet man nun, bis der Draht die Temperatur der Umgebung angenommen hat, so kann man in dem Augenblicke, in welchem man das Gewicht abhebt, eine Temperaturerhöhung nachweisen, welche das Resultat der nunmehr erfolgenden Zusammenziehung ist. Werden beide Operationen bald nach einander ausgeführt, so scheint die Temperatur kaum zu schwanken, weil die durch die erste Arbeit aufgebrauchte Wärme durch die im zweiten Falle erzeugte vollständig ersetzt wird.

Carnot stellte als Grundprincip den Satz auf: „Jedesmal, wenn eine gewisse Wärmemenge von einem warmen Körper auf einen kalten übergeht, wird auch eine äquivalente Menge von Arbeit geleistet, vorausgesetzt, dass der Körper welcher die Uebertragung vermittelt, nicht eine definitive Aenderung seines Aggregatzustandes erleidet; hierbei bleibt die Wärmemenge unverändert.“ So richtig nun auch der erste Theil dieses Satzes ist, so fehlerhaft ist der zweite, denn in Wirklichkeit verschwindet eine der geleisteten Arbeit proportionale Wärmemenge. Das Verständniss dieses Gesetzes wird noch vollständiger werden, wenn wir erst die vollkommene Uebereinstimmung der Erscheinungen von beiderlei Art gründlich geprüft haben.

KAPITEL V.

Folgerungen aus den vorerwähnten Thatsachen. — Erhaltung der Kraft. — Nutzeffect.

Die bisher auseinandergesetzten Thatsachen beweisen, dass die aufgebrauchte Arbeit und die entwickelte Wärme zu einander im Verhältnisse von Ursache und Wirkung stehen und dass zwischen den positiven oder negativen Arbeitsmengen und den gewonnenen oder verlorenen Wärmemengen ein einziges und unveränderliches Verhältniss besteht. Fragen wir nunmehr, ob dieser Zusammenhang ein solcher ist, dass die Bewegung, welche als fortschreitende Bewegung des ganzen Körpers verschwindet, in der Form von Wärmeschwingungen wieder auftritt, und ob diese Umsetzung eine vollständige ist. Man kann sich nicht verhehlen, dass dies nicht auf den ersten Blick in die Augen springt, und dass es Fälle gibt, in denen die Umwandlung nicht vollständig zu sein scheint. Um über diese schwierigen Punkte in's Klare zu kommen, müssen wir zunächst zwei Arten von Arbeit unterscheiden, welche die Wärme in den Körpern bewirken kann: nämlich äussere und innere Arbeit, welche letztere im Körper selbst vor sich geht. Wenn sich ein Gas im Innern eines Cylinders ausdehnt und zugleich einen schweren Kolben hebt, so verrichtet es beide Arten von Arbeit: eine äussere, indem es das Gewicht hebt und eine innere, indem es sich ausdehnt, d. h. seine Molecüle weiter von einander entfernt. Diese zweite Arbeit ist bei den permanenten Gasen sehr klein oder gleich Null, bei den Dämpfen aber ist sie bedeutend und in flüssigen und festen Körpern ist sie noch grösser; sie ist es, welche die Aenderungen des Aggregatzustandes, also das Schmelzen und Verdampfen, bewirkt. Bei allen diesen Vorgängen wird die Arbeit darin bestehen die Bande zu lösen, welche die Molecüle vermöge ihrer Anziehung mit einander verbinden; mithin wird ein Theil der lebendigen Kraft der Wärme hierzu aufgebraucht und es wird nöthig sein die Grösse dieser Arbeit in Rechnung zu ziehen, wenn man ein immer constantes Aequivalent zwischen Wärme und mechanischer Kraft auffinden will: eine Aufgabe, die, wie man sieht, nicht leicht zu lösen ist.

Fragen wir zuerst, was in den Gasen bei den Aenderungen des Volumen und der Dichtigkeit vorgeht, um eine Erklärung für

die Entstehung der Kälte bei ihrer Ausdehnung zu finden: so werden wir dadurch auch für die allgemeine Frage mehr Klarheit erlangen.

Früher schrieb man diese Abkühlung einer Aenderung der Wärmecapacität der Gase zu: diese Ansicht ist aber nicht mehr haltbar.

Versuche von Regnault haben bewiesen, dass ein Gas von bestimmtem Gewicht bei jedem Druck fast genau dieselbe Wärmecapacität besitzt, dass also der Einfluss des Druckes sehr gering ist. Dieses Gesetz ist streng richtig für die sogenannten permanenten Gase[1]): für die Dämpfe dagegen, welche als Gase anzusehen sind, die wenig von ihrem Condensationspunkte entfernt sind, erleidet es Abänderungen, doch lässt sich dann die Aenderung der Wärmecapacität berechnen. Als permanente Gase lassen sich kaum drei anführen, nämlich Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, und auch diese müssen sehr rein sein; andernfalls sind auch sie Abweichungen unterworfen. Unter normalen Verhältnissen ist die Wärmecapacität der permanenten Gase bei allen Temperaturen immer dieselbe: die Erscheinung der Abkühlung lässt sich also durch eine Aenderung der Wärmecapacität nicht erklären.

Die wahre Quelle dieser Temperaturerniedrigung ist die Arbeit, welche das Gas ausführt, indem es den Atmosphärendruck überwindet. Jedesmal, wenn sich ein Gas ausdehnt ohne äussere Arbeit zu verrichten, bleibt die Temperatur in seiner Gesammtmasse dieselbe.

Dies ist durch einen berühmten Versuch von Joule bewiesen worden. Dieser Physiker tauchte zwei starke Metallballons, welche durch einen Hahn mit einander in Verbindung gesetzt werden konnten, in einem Gefässe unter Wasser (Fig. 4). In dem einen, A, befand sich Luft, welche einem Druck von 10 Atmosphären ausgesetzt war, der andere, B, war leer. Die Temperatur des Wassers wurde mit der grössten Sorgfalt bestimmt. Wurde der Hahn geöffnet, so setzte sich die Luft in beiden Ballons in's Gleichgewicht und hierbei änderte sich die Temperatur des Wassers nicht. Die richtige Erklärung dieser Beobachtung führt auf den obigen Satz. Oeffnet man den Hahn, so kühlt sich in der That die Luft im Recipienten A bei ihrer Ausdehnung ab, wie man sehen kann, wenn man nur den Recipienten A unter Wasser taucht. Kommt nun die aus-

[1]) Wir wollen diesen Ausdruck, da er einmal eingeführt ist, beibehalten. Ueber die Verdichtung dieser Körper werden wir später sprechen. Sch.

gedehnte Luft mit niedriger Temperatur in dem Ballon B an, so wird sie durch die Luft, welche aus A nachströmt, zusammengedrückt, und hierbei entwickelt sich Wärme. Da nun die Gesammtmasse der Luft schliesslich doch in Wirklichkeit eine Ausdehnung erleidet, so müsste man vermuthen, dass eine Abkühlung eintrete, und es entsteht die Frage, warum gleichwohl die Temperatur dieselbe bleibt? Der Grund hierfür ist nur in der Arbeit zu suchen, welche die Luft bei ihrem Ueberfliessen leistet. Die Molecüle der Luft werden nämlich zuerst aus dem ersten Ballon in den zweiten geschleudert wie Geschosse, deren Geschwindigkeit zu Anfang ihrer Bewegung man auf etwa 600^m in der Secunde veranschlagen kann: hierauf vermindert sich diese Geschwindigkeit beständig, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Der Stoss und die schwingende Bewegung der Molecüle beim Uebergange der Luft muss also in B eine Temperaturerhöhung bewirken, während die Luft im Ballon A eine Arbeit auf Kosten ihrer eigenen Wärme leistet; die beim Uebergang aus A nach B entwickelte Wärme ist aber so gross, dass sich das Mundstück beim Durchgange der Luft bedeutend erhitzt, wie Joule durch directe Versuche bewiesen hat. Hat nun das Ueberströmen ein Ende erreicht und ist die Dichtigkeit der Luft in beiden Gefässen die gleiche geworden, so theilt sich die entstandene Wärme nunmehr der ganzen Masse mit und erwärmt sie in solchem Grade, dass die Temperatur dieselbe bleibt, trotzdem dass infolge der Ausdehnung eine Abkühlung in A stattfindet. Da keine äussere Arbeit geleistet ist, so ist das Endergebniss ein vollständiger Ausgleich: während des Versuches selbst hat sich in den einzelnen Theilen des Apparates die Temperatur freilich ändern müssen und das vollkommene Gleichgewicht konnte sich erst nach einiger Zeit herstellen. Diese speciellen Temperaturänderungen in den einzelnen Phasen des Versuches hat Cazin durch einen geistreich ersonnenen Apparat nachgewiesen [1]).

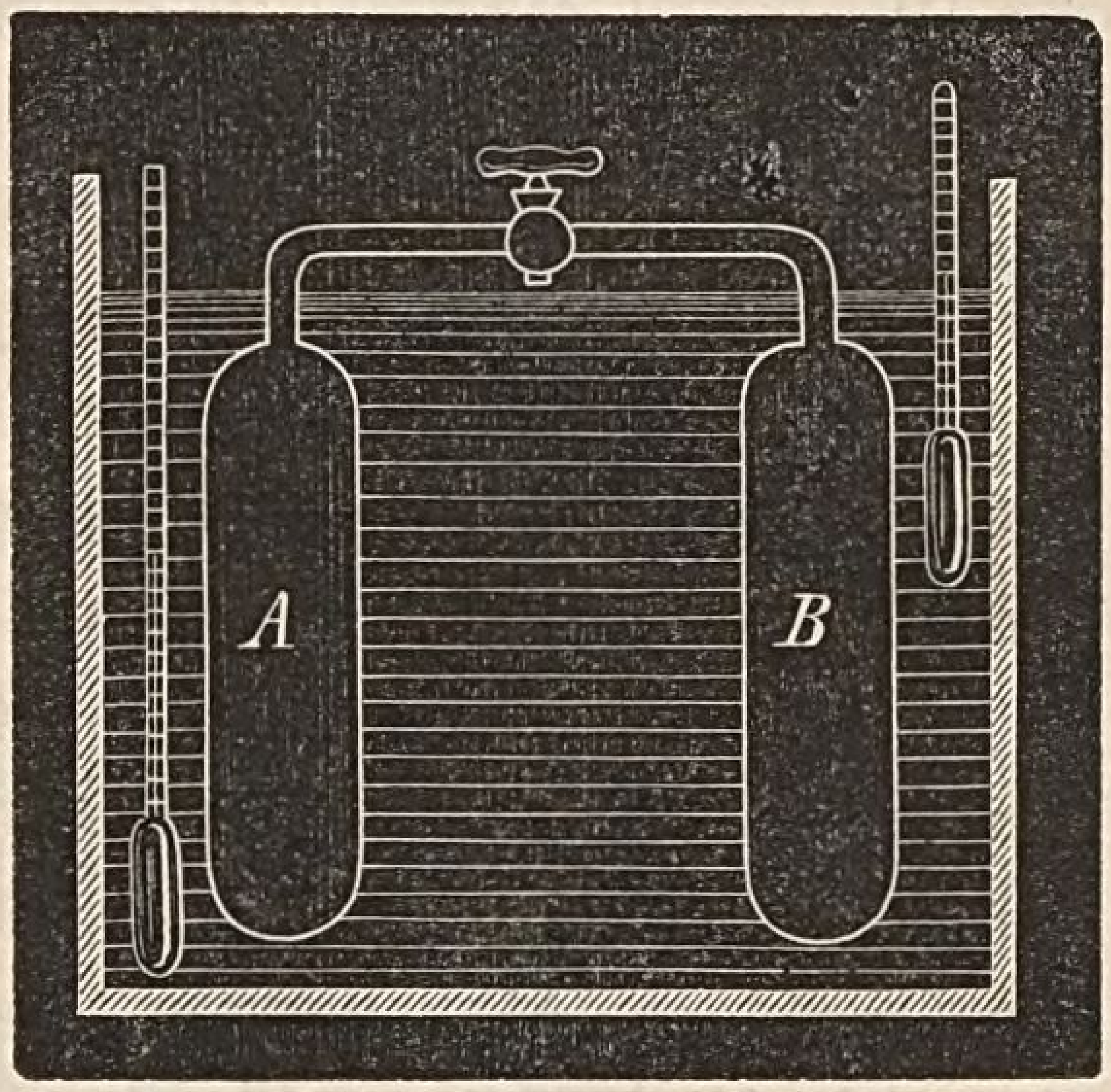


Fig. 4.

[1]) S. Comptes rendus, 9. März 1868. S.

Der Versuch von Joule, wiederholt durch Regnault, ist vollständig gelungen: doch könnte man einwenden, dass die Menge der entwickelten oder aufgebrauchten Wärme so gering sei, dass es Schwierigkeiten machte, sie zu messen. Deshalb verwandelte Hirn den ganzen Apparat in eine Art Differenzialthermometer: er theilte eine Röhre durch eine Membran in zwei Fächer; hierauf verdichtete er mit Hülfe einer Pumpe die Luft in dem einen Fache um eben so viel, als er sie im andern Fache ausdehnte. Indem er endlich den Zusammenhang der Fächer durch Zerreissen der Membran wieder herstellte und gleichzeitig ein Manometer mit dem Apparat in Verbindung brachte, fand er, dass die Temperatur constant blieb und dass das Manometer einen Druck anzeigte, welcher dem vor der Scheidung der Gase beobachteten gleich war. Vor Beginn des Experimentes hatte man gewartet, bis alle durch das Arbeiten der Pumpe erzeugte Wärme verschwunden und das ganze System wieder auf die ursprüngliche Temperatur gekommen war. Der Versuch wurde in sehr überzeugender Weise angestellt, unter Bedingungen, die einen Temperaturunterschied von $0^{\circ},02$ bei einer Differenz von $^1/_2$ Atmosphäre erkennen liessen.

Diese Versuche beweisen, dass für die permanenten Gase die Temperatur der Masse sich nicht ändert, wenn sie nicht äussere Arbeit verrichtet. Damit ist nicht gesagt, dass die Temperatur in den einzelnen Abtheilungen des Apparates constant bleibe; aber wenn sie in dem einen Theile wächst, so nimmt sie in dem anderen um eine gleiche Grösse ab, so dass schliesslich vollständiger Ausgleich stattfindet. Dies lässt sich leicht aus der molecularen Beschaffenheit der Gase erklären. Die Molecüle dieser Körper besitzen eine sehr grosse Geschwindigkeit: sind sie nun in Gefässen eingeschlossen, so werden sie vielfach von den Wänden zurückgeworfen, wodurch sie zwar in andere Richtungen gebracht werden, jedoch ohne dass sich ihre lebendige Kraft ändert. Eröffnet man ihnen einen weiteren Raum, so können sie in geraden Linien, statt in gebrochenen, weitergehen, wobei ebenfalls der Betrag ihrer lebendigen Kraft kein anderer würde.

Der Vorgang wird aber ein anderer, wenn die Gase einen Widerstand überwinden müssen, wenn sie z. B. den Druck der Atmosphäre unmittelbar aufheben, oder wenn sie einen mit diesem Drucke oder mit einem anderen Gewichte belasteten Kolben bewegen müssen, denn dann wird ihre lebendige Kraft zum Theil

auf diese Arbeit verwendet: und so erklärt sich der Wärmeverlust bei den Maschinen, welche durch heisse Luft oder Dampf getrieben werden. In allen diesen Fällen verwandelt sich die moleculare Geschwindigkeit in Bewegungsgeschwindigkeit der mehr oder weniger beträchtlichen Massen, aus denen die Maschine besteht, und hierdurch wird die Arbeit verrichtet, welche sie zu leisten im Stande ist.

Erwärmt man ein Gas in einem geschlossenen Gefässe, welches sich nicht ausdehnt und die Wärme nicht entweichen lässt, so kann sich nur seine Spannung steigern, da sein Volumen nicht zunehmen kann. Bezeichnet man mit Q die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur der Masseneinheit von t_0 bis auf t_1 zu steigern, und mit K die Wärmecapacität des Gases, so ist $Q = K(t_1 - t_0)$, und wenn die Differenz $t_1 - t_0$ nur 1^0 beträgt, so wird die Wärmemenge $Q = K$, d. i. gleich der specifischen Wärme.

Wenn das Gas dagegen sich beim Erwärmen ausdehnen kann, wenn es z. B. in einem Cylinder durch einen Kolben abgeschlossen ist, den es bei seiner Ausdehnung zurückschiebt und auf dem nur der Druck der Atmosphäre lastet, so verrichtet das Gas bei seiner Ausdehnung eine Arbeit. Bezeichnet man den cubischen Ausdehnungscoëfficienten des Gases für 1^0 mit α, sein ursprüngliches Volumen mit v und den Druck der Atmosphäre auf die Flächeneinheit mit p, so wird, wie man leicht sieht, beim Erwärmen um 1^0 zugleich eine Arbeit geleistet, gleich als wenn das Gewicht p auf die Höhe αv gehoben würde. Führt man das mechanische Aequivalent der Wärme A ein, so bedarf man, um diese Arbeit zu leisten, einer Wärmemenge $= \frac{\alpha p v}{A}$; um also in diesem Falle die Temperatur des Gases um 1^0 zu erhöhen und zugleich jene Arbeit zu leisten, muss die aufgewendete Wärme Q' um letzteren Betrag grösser sein: sie beträgt demnach für 1^0

$$Q' = K + \frac{\alpha p v}{A}.$$

Durch genaue Versuche ist nicht allein dieser Schluss in vollem Masse bestätigt worden, sondern es ist auch gelungen, das Verhältniss der specifischen Wärme bei constantem Volumen, zur specifischen Wärme bei constantem Drucke zu bestimmen; es ist nämlich $K : Q' = 1 : 1{,}41$.

Auch zur Bestimmung des mechanischen Aequivalentes der

Wärme haben dieselben Versuche gedient; denn löst man die vorstehende Gleichung auf, so erhält man

$$A = \frac{\alpha\, p\, v}{Q' - K},$$

und setzt man nun die gefundenen Werthe für K, p, v und α ein, so ergiebt sich für A eine Grösse, welche mit den auf anderen Wegen erlangten Resultaten sehr gut übereinstimmt. Auf die innere Arbeit, deren es zur Ausdehnung des Gases bedarf, ist hierbei nicht Rücksicht genommen: doch wir werden später sehen, dass dieselbe sehr gering ist.

Diesen Verhältnissen ist im einzelnen Falle leicht Rechnung zu tragen. Nehmen wir z. B. an, dass die Oberfläche des Kolbens gleich 1 Quadratmeter sei, woraus sich ein Druck von 10333 Kilogrammen ergibt, dass die in dem Cylinder eingeschlossene Luft ein Volumen von 1 Cubikmeter besitze und dass sie so stark erwärmt werde, dass sich ihr Volumen verdoppelt, wozu eine Temperaturerhöhung von 272°,85 erforderlich ist, da sich die Gase für 1° um 0,003665 ausdehnen. Dabei wird der Kolben um 1 Meter gehoben, es wird also eine äussere Arbeit von 10333 Meterkilogramm und ausserdem noch die innere Arbeit der Ausdehnung der Luft verrichtet. Setzt man die specifische Wärme der Luft = 0,237 und das Gewicht eines Cubikmeters bei 0° und 760 Millimeter Druck = 1,293 Kilogramm, so ergiebt sich im vorliegenden Falle ein Bedarf von 83,6 Calorien. Lässt man nun die Luft sich auf die ursprüngliche Temperatur abkühlen und auf das ursprüngliche Volumen zusammenziehen, und trifft man die Einrichtung so, dass der Kolben nur dem Gase folgt, in dem Masse, wie es sich verdichtet, ohne dass der Luftdruck oder ein anderer Druck auf dasselbe wirkt, so entsteht die Frage, ob dabei alle Wärme wiedererstattet wird, die man beim Erwärmen aufgewendet hat. Die Antwort ist leicht. Wenn alles wiedererstattet würde, so hätte man die Hebung des Gewichtes ohne irgend welchen Verbrauch an Kraft ausgeführt, was unmöglich ist. Bedenkt man, dass zu einer Arbeit von 10333 Meterkilogramm ein Aufwand von 24,3 Calorien erforderlich ist, so sieht man, dass nur 59,3 wiedererstattet werden, die 24,3 Calorien aber, welche für sich die Luft auf 79°,31 hätten erwärmen können, aufgebraucht sind.

Früher erklärte man diesen Verlust an Wärme dadurch, dass man annahm, dass die Wärmecapacität grösser würde, in neuerer

Zeit aber hat Regnault das Ungenügende dieser Erklärung nachgewiesen, indem er zeigte, dass diese Capacität constant ist: man muss also zugeben, dass die verschwundene Wärmemenge wirklich in Arbeit verwandelt ist.

Durch geeignete Versuche hat man nicht allein das mechanische Aequivalent der Wärme kennen gelernt, sondern es ist auch gelungen nachzuweisen, dass die Umwandlung der Wärme in Arbeit in keiner Weise von dem Stoffe abhängig ist, durch welchen sie vermittelt wird, sondern einzig und allein von der absoluten Menge der Wärme, welche verschwunden ist. Ich sage von der absoluten Menge, denn diese Grösse darf nicht nach gewöhnlicher Temperatur bestimmt werden, sondern man muss sie von dem absoluten Nullpunkte aus zählen, von welchem wir oben sprachen.

Man kann hier die Frage aufwerfen, ob es wohl möglich sei, durch eine vollendete Maschine eine gegebene Wärmemenge vollständig in mechanische Kraft zu verwandeln? Die Theorie antwortet: nein; denn selbst bei den denkbar besten Maschinen giebt es einen grössten Nutzeffect, welchen man nicht überschreiten kann. Dies wird klar, wenn man den Kreis der Wirkungen in's Auge fasst, welche der Stoff, der die Wärme leitet, hervorbringen muss um die mechanische Arbeit zu leisten.

Denken wir uns eine vollkommene Maschine, d. h. eine solche, bei welcher keine Wärme verloren geht, weder durch Strahlung noch durch Leitung, bei welcher keine unnütze Arbeit ausgeführt wird und keine Temperaturerhöhung stattfindet, die nicht nothwendig ist. Welchen Stoff man auch zur Kraftentwickelung anwendet, so sind immer folgende Phasen zu durchlaufen: das Material, welches die Kraft enwickelt, hat eine ursprüngliche Temperatur T_0 und wird durch Feuer auf eine Temperatur T_1 gebracht; bei diesem Grade tritt es in eine neue Periode, während welcher es sich in Dampf verwandelt und an Volumen und Druck zunimmt, sowohl im Dampfkessel, als auch im Cylinder, in dem sich der Kolben bewegt. Hierbei behält der Dampf während einer gewissen Zeit dieselbe Spannung, selbst wenn sich der Kolben im Cylinder weiter bewegt, weil sich dann im Kessel eine neue Dampfmenge entwickelt und den leeren Raum ausfüllt. Nunmehr wird die Communication mit dem Dampfkessel unterbrochen, so dass sich der Dampf nur noch vermöge seiner eigenen Elasticität ausdehnt. In dieser dritten Periode und während eines Theiles der

vorhergehenden vollbringt der Dampf eine Arbeit und erniedrigt sich dabei auf die Temperatur T'. Wenn nun keine Aenderung vorgenommen würde, so könnte die Maschine ihre Arbeit nicht fortsetzen, sondern würde nach dem ersten Kolbenstosse stillstehen. Um die Arbeit fortzusetzen, hat man zwei verschiedene Wege: entweder man lässt den Dampf, welcher die Arbeit ausgeführt hat, entweichen, wobei man alle Wärme, welche er enthält, d. h. $T' - T_0$ und damit alle ihm noch innewohnende lebendige Kraft verliert; oder man condensirt den Dampf und vollbringt damit eine Operation, welche den Vorgängen im Dampfkessel entgegengesetzt ist.

Den ersten Weg wendet man bei den Maschinen mit hohem Drucke an; denn in diesem Falle gewährt derselbe Vortheile, die den theilweisen Verlust an Kraft weit überwiegen. Bei den Maschinen mit geringem Dampfdrucke braucht man gewöhnlich die zweite Methode, d. h. man condensirt den Dampf: man leitet bei diesen Maschinen den verbrauchten Dampf in einen geschlossenen und äusserlich gekühlten röhrenförmigen Condensator, aus dem der Kessel wieder gespeisst wird; und so wird immer dieselbe Flüssigkeitsmenge in Umlauf versetzt. Dadurch, dass man Metallnetze anwendet, kann man ähnliche Resultate bei den Heissluftmaschinen erzielen.

Die vierte Operation, welcher das Material unterworfen wird, ist demnach eine Condensation, begleitet von einer Abkühlung, oder mit anderen Worten eine negative Arbeit, welche den Dampf auf das ursprüngliche Volumen der Flüssigkeit und auf die Temperatur T_0, von welcher er ausgegangen ist, zurückführt. Hierauf wird die Flüssigkeit wieder aufgenommen und in den Kessel zurückgebracht, um denselben Kreislauf von Neuem zu beginnen.

Man sieht, dass im Kreislauf dieser Vorgänge der Verlust an Wärme für den Nutzeffect der Maschine durch alle die Wärme dargestellt wird, welche in der vierten Periode dem äusseren Kühlmittel mitgetheilt wird. Man könnte diese Wärme wohl zu anderen Zwecken verbrauchen, für die Kraftentwickelung der Maschine aber ist sie verloren. Der grösste Effect würde demnach erzielt, wenn der Unterschied zwischen T' und T_0 unmerklich wäre, d. h. wenn der Dampf sich ausdehnte, bis er die Temperatur des Condensators erreicht hätte, in welchem Falle $T' = T_0$ ist.

Wenn wir die möglichen Arbeitsleistungen, die den Tempe-

raturen T_1 und T_0 entsprechen, mit L_1 und L_0, ferner die entsprechende Anzahl Calorien mit Q_1 und Q_0 und das mechanische Aequivalent der Wärme, mit ε bezeichnen, so haben wir

$$L_1 = \varepsilon Q_1 \text{ und } L_0 = \varepsilon Q_0,$$

und den grössten Nutzeffect

$$L_1 - L_0 = \varepsilon Q_1 - \varepsilon Q_0.$$

Bezeichnen wir das Verhältniss dieser Grösse zu der Grösse der Arbeit L_1, welche die ursprüngliche Wärmemenge verrichten könnte, mit F, so ist

$$F = \frac{L_1 - L_0}{L_1}.$$

Die Grösse F heisst der öconomische Coëfficient.

Nimmt man an, dass die Wärmemengen den absoluten Temperaturen (welche von 273° unter o gerechnet werden) proportional sind, so hat man:

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{\varepsilon Q_1}{\varepsilon Q_0} = \frac{L_1}{L_0}.$$

Hieraus folgt

$$\frac{L_1 - L_0}{L_1} = \frac{T_1 - T_0}{T_1}$$

und schliesslich

$$F = \frac{T_1 - T_0}{T_1}.$$

Der Nutzeffect der Maschine wird also berechnet durch das Verhältniss der Differenz der beiden äussersten Temperaturen der Maschine zur grössten Temperatur, auf welche der bewegende Stoff erwärmt war; folglich ist der grösste Effect, welchen man für die Arbeit erzielen kann:

$$L_1 - L_0 = 425\, Q_1 \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_1}.$$

Der Factor $\frac{T_1 - T_0}{T_1}$ kann nur dann gleich der Einheit werden, wenn man $T_0 = 0$ setzt, d. h. wenn man bis zur absoluten o abkühlt, oder auch wenn man voraussetzt, dass durch die Arbeit keine Wärme verloren geht. Die erste Annahme ist praktisch unmöglich, die zweite wiederspricht der Theorie. Daher wird der grösste Nutzeffect niemals der ganzen calorischen Energie gleichkommen, welche man zur Erhitzung der Massen gebraucht hat.

Da dieser Nutzeffect von dem Unterschiede der beiden Temperaturen abhängt, so wird sich bei höheren Temperaturen der

Werth der Einheit mehr nähern, als bei niedrigen Temperaturen. Leider zeigen sich dann andere ernstliche Schwierigkeiten, welche wir hier nicht aufzählen können.

Um den Nutzeffect einer Maschine zu berechnen darf man daher nicht die absolute Menge der Kraft nehmen, welche die Wärme durch ihre Schwingungen entwickelt, sondern die, welche die Maschine erzeugen kann im Verhältniss zum Coëfficienten von $L_1 - L_0$: mehr verlangen, heisst Kraft aus Nichts schaffen wollen. Als Beispiel nehmen wir an, dass eine Maschine in der Stunde für jede Pferdekraft 1 Kilogramm Kohle verbrenne. Hat der Dampfkessel eine Temperatur von 120^0 bei einem Drucke von 2 Atmosphären, während die Temperatur des Condensators 60^0 beträgt, so wird diese Maschine eine Arbeit von $75^{m.k} \times 1$ Stunde $= 75 \times 60^m \times 60^s$ mit einem Aufwande von 1 Kilogramm Kohlen verrichten, welches 7500 Calorien entwickelt. Dividiren wir die Arbeit durch die Zahl der Calorien, so finden wir für jede Calorie einen Nutzeffect von nur $\frac{75 \times 3600}{7500} = 36$ Meterkilogrammen. Da nach der Theorie jede Calorie 425 Meterkilogramme ergeben müsste, so nutzt man von dieser ganzen Grösse nur $\frac{36}{425} = \frac{1}{11,8}$ aus, der Verlust ist also enorm.

Dieser Verlust rührt nicht etwa nur von den Fehlern der Maschine her, sondern er wird durch ihr System und die Temperaturen, mit welchen man arbeitet, bedingt. Um sich hiervon zu überzeugen, brauchen wir nur den Werth von F für eine Calorie Q zu berechnen; wir finden denselben

$$L_1 - L = 425 \frac{(273^0 + 120^0) - (273^0 + 60^0)}{273^0 + 120^0} = 425 \cdot \frac{1}{6,5} = 66$$

ungefähr.

Da die Maschine nur einen Effect $= 36$ statt dieser 66 giebt, so beträgt dies etwa 54 Procent: sie ist also nicht so schlecht, als sie im Princip erschien, da mancher hydraulische Motor keinen grösseren Nutzeffect giebt. Es ist klar, dass man die Bedingungen, unter denen die Dampfmaschine arbeitet, günstiger machen kann: doch wird es nie gelingen, so viel zu erzielen, als Unkundige uns glauben machen wollen.

Wir sind auf diese Einzelheiten aus dem Gebiete der Thermodynamik ausführlicher eingegangen, um das Irrige mancher An-

sichten über diesen Gegenstand nachzuweisen und um nicht zu unnützen Versuchen aufzumuntern, welche im Grunde auf das Streben das Perpetuum mobile zu erfinden hinauslaufen. Von nun an überlassen wir dies Studium den Männern der Praxis und halten uns innerhalb der Grenzen der allgemeinen Theorie der physikalischen Constitution der Körper.

KAPITEL VI.

Prüfung der Arbeiten, welche die Wärme in den Körpern verrichtet.

Wollen wir unseren Vorstellungen von der Verwandlung der Wärme in mechanische Arbeit etwas zu Hilfe kommen, so ist es dienlich, dass wir an einen analogen Fall erinnern, von dem wir auch bereits im Anfange dieser Untersuchungen ausgegangen sind und auf den wir jetzt zurückkommen.

Wir bestimmen die Temperaturen durch die Ausdehnung der Körper und haben dafür kein anderes Mittel zu unserer Verfügung; die mechanische Arbeit dagegen bestimmen wir nach Meterkilogrammen: wie soll man nun diese beiden Grössen mit einander vergleichen? Um diese Schwierigkeit zu überwinden, wollen wir als Beispiel eine Erscheinung anführen, welche dem Verständnisse näher liegt. Nehmen wir an, dass wir uns die Aufgabe stellen das mechanische Aequivalent der Schallschwingungen einer Glocke zu bestimmen, welche durch einen Hammer von bekannter Masse geschlagen wird, der aus einer gegebenen Höhe herabfällt. Man findet die mechanische Kraft des Hammers in der gewöhnlichen Weise, indem man sein Gewicht mit der Höhe multiplicirt, aus der er herabfällt, und dieses Product ist gleich seiner lebendigen Kraft: wie soll man aber die lebendige Kraft des Schalles schätzen? Man könnte die Schwingungsweite für einen Theil der Glocke bestimmen, indem man z. B. die Bewegungen eines Lichtstrahles beobachtet, der von einem an der Glocke befestigten kleinen Spiegel zurückgeworfen wird, ein Verfahren, welches schon Lissajous bei seinen Versuchen über die Stimmgabel angewendet hat. Dieses Verfahren würde sehr genau sein und wir würden auf diese Weise leicht einen Coëfficienten für die Verwandlung der einen Bewegung in die andere erhalten: wir würden finden, das eine bestimmte Zahl von Meterkilo-

grammen, welche auf den Stoss verwendet werden, einer gewissen Anzahl von Millimetern in der Weite der Schwingungen entspricht. Das so berechnete Verhältniss kann als mechanisches Aequivalent des Schalles angesehen werden. Sicherlich sind diese beiden Elemente nicht identisch, weder dem Masse nach, noch in ihrer ganzen Beschaffenheit, und doch ist es ausser Zweifel, dass das eine mit dem anderen in engem Zusammenhange steht, nicht allein durch die Beziehungen von Ursache und Wirkung, sondern auch durch das Princip der Verwandlung der Kräfte, welches hier eine der augenfälligsten Anwendungen erfährt. Auf der Industrieausstellung zu Paris im Jahre 1855 war eine ungeheure Glocke aufgestellt, welche durch ein System von Stützen getragen wurde, die ihre Bewegung so leicht machten, dass trotz ihrer Masse ein einziger Mann genügte, um sie in Bewegung zu erhalten, jedoch ohne sie erklingen zu lassen. Der Mann, welcher die Glocke vorzeigte, rühmte den geistreichen Mechanismus auf's Höchste und wünschte, dass er bei allen Glocken angewendet würde, um das Läuten weniger beschwerlich zu machen. Da meinte ein Geistlicher, der ein guter Mathematiker war[1]), dass er gern denselben Versuch sehen möchte, nur mit dem Unterschiede, dass die Glocke erklinge. Alle Umstehenden begriffen den Unterschied nicht, am wenigsten aber der, welcher die Maschine angepriesen hatte. Wäre der Versuch angestellt worden, so würde man einen grossen Unterschied gefunden haben: denn wenn die Glocke beim Herabsinken vom Klöppel getroffen wird, so erleidet dadurch ihre Bewegung einen Verlust, ein Theil der Geschwindigkeit, die sie durch den Fall erlangt hat, wird durch den Stoss aufgehoben und in der zweiten Hälfte ihrer Bewegung steigt sie nicht zu der Höhe hinauf, welche sie erreichen würde, wenn sie schwänge ohne gestossen zu werden, denn in diesem letzteren Falle würde die Reibung das einzige Hinderniss sein, das man überwinden müsste. Die lebendige Kraft, welche durch den Stoss verloren geht, wird auf die Luft übertragen und in die schwingende Bewegung verwandelt, welche den Schall hervorruft: oder um es ganz einfach auszudrücken, sie ist in Schall verwandelt worden.

In ähnlicher Weise können die Ausdehnungen, welche durch die molecularen Schwingungen der Wärme erzeugt werden, dazu

[1]) Vielleicht Secchi selbst? Sch.

dienen die mechanische Kraft zu ermitteln, durch welche sie hervorgerufen werden und umgekehrt. Die Ausdehnung durch die Wärme kann als Mass für die Intensität der molecularen Schwingungen dienen; und diese stehen wieder mit der mechanischen Kraft in so engem Zusammenhange, dass nicht allein das Verhältniss zwischen diesen beiden Elementen ein constantes ist, sondern dass auch beim Erlöschen der einen Erscheinung stets die andere auftritt, so dass wir wohl annehmen dürfen, dass hierbei eine wirkliche Verwandlung der Kraft stattgefunden habe. Die Vorstellung von dieser gegenseitigen Verwandlung ist jetzt allen geläufig und man findet bei einer grossen Zahl von Naturerscheinungen Analogien. Die Geschichte der Wissenschaft lehrt uns, dass die Lösung des Problems, worin die Natur der Wärme bestehe, mit der Theorie der strahlenden Wärme und mit der Vergleichung der Licht- und Wärmeschwingungen einerseits und der Tonschwingungen andererseits begonnen hat; ohne diese Stütze würde der blosse Begriff des mechanischen Aequivalentes nicht genügt haben, um eine klare Vorstellung von der Erscheinung, die man Wärme der Körper nennt, zu geben.

Wenn auch eine Aehnlichkeit zwischen Schall und Wärme somit besteht, indem beide als schwingende Bewegungen anzusehen sind, so sind einige Physiker doch darin zu weit gegangen, dass sie die Töne, welche durch gewisse warme Körper unter besonderen Umständen hervorgebracht werden, als blosse Wirkung der Wärmeschwingungen ansahen. [1]) Man überschreitet die Grenzen einer berechtigten Iuduction, wenn man in diesem Falle eine directe Einwirkung annimmt, denn die Töne, die hierbei entstehen, sind so tief, dass sie ungleich langsamere Schwingungen vorraussetzen, als die sind, durch welche sich die Molecüle bei den Wärmeschwingungen bewegen. Man muss diese Töne als secundäre Wirkungen ansehen, welche entweder durch die Ausdehnung der zwischenliegenden Luftschicht oder durch die ungleichen Bewegungen in den Körpern, die sich berühren, hervorgebracht werden; wenn z. B. der eine sich ausdehnt, während sich der andere zusammenzieht, so kann dieser Wechsel eine hüpfende Bewegung und dadurch Schall-

[1]) Derartige Versuche sind ziemlich einfach: erwärmt man eine Kupfermünze über einer Spirituslampe und legt sie dann auf einen Amboss oder eine andere elastische Metallmasse, so bringt sie einen Ton hervor. Dieser Versuch, der jetzt allgemein bekannt ist, gelingt auch mit Körpern von anderer Form. S.

schwingungen hervorbringen. Welche Erklärung man auch annehmen mag, so beweisen diese Töne auf alle Fälle, dass die Molecüle der Körper in heftiger Bewegung sind. Diese moleculare Bewegung ist auch niemals angezweifelt worden, selbst nicht durch die Physiker, welche der Ansicht waren, dass das Feuer in Form von kleinen feurigen Körpern (igniculi) eindringe, wie zu Galilei's und Huyghen's Zeiten [1]).

Wenn man die Erscheinungen der strahlenden Wärme und des mechanischen Wärmeäquivalentes einer gemeinsamen Prüfung unterwirft, so zeigt sich deutlich, dass die Wärme einfach in einer schwingenden Bewegung der Molecüle besteht. Als Mass für die Intensität dieser Schwingungen kann die Ausdehnung oder mit anderen Worten die durch sie verrichtete Arbeit dienen; und man kann mithin die Temperatur der lebendigen Kraft proportional setzen. Diese moleculare Schwingung überschreitet in manchen Fällen die Grenzen einer einfachen oscillirenden Bewegung und wird zur heftigen Wurfbewegung: dies ist der Fall bei den Gasen. Alle Theorien nehmen an, dass die Molecüle der Gase eine zurückstossende Kraft oder ein Ausdehnungsvermögen besitzen, in Folge dessen sie heftig gegen die Körper stossen, die ihnen Widerstand leisten. Folglich muss man annehmen, dass sie bei diesen Stössen einen Theil ihrer Kraft verlieren und sie den Körpern mittheilen, welche sich in Bewegung setzen, wenn sie frei genug sind, um jenem Drucke zu weichen; daher die Verminderung der Temperatur und der Spannkraft eines Gases, wenn es irgend eine Arbeit vollbringt. Diese absolute Geschwindigkeit der Gase ist die Ursache für ihre Spannkraft, im

[1]) Galilei, Scienza nuova, dialogo I, p. 15, Ausg. von 1655, Bologna. — Huyghens, De lumine, am oben angeführten Orte.

Die Zahl der Schallschwingungen beträgt in der Secunde 30 bis 50,000, die der Lichtschwingungen beginnt bei 480 Billionen und reicht bis 760 Billionen. Mithin scheint ein ungeheurer Zwischenraum diese zwei Arten von Bewegungen von einander zu trennen; in Wirklichkeit ist dies aber nicht der Fall. Treffen nämlich Schwingungen auf unser Ohr, deren Zahl jenseits der angeführten Grenze liegen, so sind sie nicht mehr im Stande, die Empfindung eines musikalischen Tones hervorzurufen; doch hören wir auch dann noch Geräusche verschiedener Art, ein Brausen, Prasseln und dergl. Auf diese Schwingungen folgen dunkle Wärmeschwingungen, deren Umfang sehr schwer zu bestimmen ist; wächst endlich die moleculare Bewegung immer mehr, so erreicht sie schliesslich eine solche Grösse, dass die erzeugten Wellen einen Eindruck auf die Netzhaut machen: in diesem Augenblicke erscheinen die Lichtstrahlen. S.

Gegensatz zu den festen und flüssigen Körpern, in welchen die Molecüle nur eine oscillirende Bewegung ausführen können. Jede Veränderung in der absoluten Geschwindigkeit der Gase oder auch in der Intensität der Schwingungen bei den anderen Körpern, verlangt eine Erhöhung oder Verminderung der lebendigen Kraft, je nach der Grösse der positiven oder negativen Arbeit, welche im Körper vor sich geht.

Wir müssen jetzt diese Arbeiten prüfen, denn der Physiker begnügt sich nicht mit dem, was dem Praktiker genügt: er sieht nicht nur die Wärme als eine abstracte Kraft an, indem er sich auf das Princip der Aequivalenz stützt, sondern er muss ausserdem die Art der Arbeit, welche in den Körpern verrichtet wird, einer genauen Prüfung unterwerfen.

Durchdringt die Wärme irgend einen Körper, so kann sie drei sehr verschiedene Wirkungen hervorbringen oder Arbeiten verrichten: sie kann 1) ihn erwärmen, 2) innere Wiederstände überwinden und 3) äussere Arbeit hervorbringen.

1. Die Wärmemenge, welche für die erste Arbeit verwendet wird, lässt sich nach der Grösse bemessen, die nöthig ist, um die Temperatur der Masseneinheit des Körpers um 1° zu erhöhen. Bezeichnen wir die Grösse, welche absolute Wärmecapacität heisst, mit K, so wird die Wärmemenge q, welche man aufwenden muss, um die Temperatur der Masseneinheit von t_0 auf t_1 zu erhöhen, wo $t_1 > t_0$, ausgedrückt durch

$$q = K(t_1 - t_0).$$

Da der Werth K eine absolute Grösse ist, so muss er für einen und denselben Körper constant bleiben, in welchem Aggregatzustande sich derselbe auch befinden mag; denn er ist nur abhängig von der Trägheit der Molecüle und dem Zuwachs an lebendiger Kraft, welcher ihnen zu Theil wird, und dieser letztere ist, abgesehen von allen anderen etwa noch eintretenden Wirkungen, der Temperatur streng proportional.

2. Ein zweiter Theil der Wärme wird verwendet zur Ueberwindung der inneren Widerstände, wobei die Wärme wieder mancherlei Arbeit verrichten kann: denn sie kann die Cohäsion insofern überwinden, dass sie a) die Körper ausdehnt, oder b) sie in den flüssigen, oder endlich c) in den luftförmigen Zustand verwandelt. Bezeichnet man den inneren Widerstand mit R und die Ausdehnung des Volumen mit dV, so beträgt die Summe aller dieser Arbeiten

$\int$RdV. Nun lässt sich jeder innere Widerstand mit einem Druck vergleichen, den die Wärme heben muss: setzt man daher das Wärmeäquivalent für das Meterkilogramm $A = \frac{1}{425}$, so werden alle diese Arbeiten geleistet durch eine Wärmemenge

$$q' = A\int RdV = A\varDelta,$$

wo $\varDelta$ die moleculare Arbeit darstellt.

Wenn bei einem umgekehrten Verfahren der Körper wieder in den Zustand zurückkehrt, von dem er ausgegangen ist, so wird auch diese Wärmemenge wieder vollständig ersetzt. Hierbei findet das Princip der Erhaltung der lebendigen Kraft Anwendung: denn jedesmal, wenn ein System von Punkten, die sich anziehen oder abstossen, durch Kräfte, welche sich als Functionen ihrer Entfernungen darstellen lassen, wieder in dieselbe Lage kommt, so besitzt es auch wieder dieselbe lebendige Kraft wie zuvor. Wird die Ausdehnung eines Körpers durch die moleculare Anziehung aufgewogen, so kann man sie mit der Wirkung eines Planeten auf einen Körper an seiner Oberfläche oder auf einen Mond, der um ihn kreist, vergleichen: um jenen Körper aufzuheben, oder um die Bahn des Mondes zu erweitern, muss eine Arbeit geleistet, Kraft aufgewendet werden. Bleiben nun die Körper in dem neuen Zustande, der durch die Kraft herbeigeführt war, so scheint die Kraft verschwunden zu sein, in Wirklichkeit ist sie aber nur in einen virtuellen oder potentiellen Zustand übergegangen, d. h. wenn es dem Körper gestattet wird, an seinen alten Platz zurückzukehren, so ersetzt er im Fallen alle die wirkliche Kraft wieder, die auf die erste Arbeit verwendet war. Ebenso wird ein Körper, dessen Masse durch eine bestimmte Arbeit verflüchtigt oder geschmolzen worden ist, im Stande sein, dieselbe Arbeit wieder zu erstatten indem er in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt.

3. Endlich leistet in gewissen Fällen der erwärmte Körper eine äussere Arbeit: er hebt ein Gewicht, z. B. einen Kolben, der durch den Luftdruck belastet ist u. s. w. Bezeichnen wir diesen Druck, von welchem wir sprechen, mit p und den Zuwachs des Volumens mit dV: so können wir die Wärmemenge, die der Gesammtarbeit äquivalent ist, welche verbraucht werden muss, damit sich der Körper von V_0 bis V_1 ausdehne, bezeichnen durch

$$q'' = A\int_{V_0}^{V_1} pdV = AP.$$

Die ganze Wärmemenge, welche in einem Körper gleichzeitig die Masse erwärmt und eine innere und äussere Arbeit verrichtet, wird daher durch folgende Formel gefunden

$$Q = K (t_1 - t_0) + A\Delta + AP. \qquad (a)$$

In dem Falle, dass die äussere Arbeit gleich Null ist und in welchem man also nur die beiden ersten Glieder der vorstehenden Formel beibehalten darf, giebt dieser Ausdruck die Wärmemenge k an, welche man unter gewöhnlichen Bedingungen gebraucht, um einen Körper auf einen bestimmten Grad zu erwärmen und zugleich die innere Arbeit auszuführen, welche gewöhnlich mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist. Diese Wärmemenge heisst die gewöhnliche Wärmecapacität.

Da bei den gasförmigen Körpern die innere Arbeit sehr gering ist, so kann bei ihnen das zweite Glied der Gleichung meist vernachlässigt werden: wie sich bei ihnen die Verhältnisse ändern, je nachdem eine äussere Arbeit zu verrichten ist oder nicht, haben wir im V. Kapitel gesehen. Bei festen und tropfbar flüssigen Körpern dagegen sind die Volumenänderungen so gering, dass man die Arbeit, durch welche der Atmosphärendruck gehoben wird, vernachlässigen kann: dafür hat man bei diesen Körpern sehr bedeutende innere Arbeiten mit in Rechnung zu ziehen, was die Erscheinungen ausserordentlich complicirt macht.[1]) Diese inneren Arbeiten sind die Veranlassung für die Vorstellung der latenten Wärme gewesen; sie zu untersuchen, muss jetzt unsere Aufgabe sein.

Untersuchen wir zunächst, wie das Vorhandensein des inneren Druckes die Gesetze beeinflusst, welche bisher bezüglich des Austausches der Wärme angenommen wurden, so sehen wir, dass diese Gesetze bedeutende Aenderungen erleiden und dass die Mehrzahl derselben nur beschränkte Gültigkeit besitzt: wenn auch theo-

Sehr wichtige Untersuchungen über diesen Punkt hat Walther Spring angestellt: er zeigte, dass bei gewissen Legirungen aus Blei, Zinn, Wismuth und Cadmium, die bei ihren Volumenänderungen durch Erwärmung sich sehr abnorm verhielten, die specifische Wärme immer dem Volumen entsprechenden Aenderungen unterworfen war. Schon dass diese Körper sich sehr unregelmässig ausdehnen, ja sich sogar innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen mit steigender Wärme zusammenziehen, ist ein Beweis von der Wirksamkeit der inneren, molecularen Kräfte. Derartige Untersuchungen dürften mit der Zeit wohl geeignet sein, über die Wechselwirkung der inneren und äusseren Kräfte einiges Licht zu verbreiten. S. Bulletin de l'Acad. royale de Belgique, Sér. 2, T. 39, No. 5, p. 548. Sch.

retisch richtig, so zeigen sie sich doch ungenau, wenn sie auf die Körper, so wie dieselben einmal sind, angewendet werden, indem sie bedeutenden Störungen unterworfen sind. Die Gesetze von Gay-Lussac und von Mariotte gelten ganz streng für die permanenten Gase, d. h. für diejenigen, in welchen die innere Arbeit gleich Null ist; sie setzen voraus, dass die Temperaturen auf den absoluten und nicht auf einen rein conventionellen Nullpunkt bezogen werden, und dass die Volumina nicht nach dem scheinbaren Rauminhalt, sondern nach dem Raume, der zwischen den Atomen frei bleibt, bemessen werden. Die Entwicklung dieser Gesetze hat einen eigenthümlichen Gang genommen, der sich mit dem Entwicklungsgange der Gesetze vergleichen lässt, nach welcher die Bewegung der Planeten in elliptischen Bahnen vor sich geht. Diese letzteren, welche mit Hilfe von ungenauen Beobachtungen gefunden wurden, haben zum Princip der allgemeinen Massenanziehung geführt; indem nun die Astronomen die Folgerungen aus diesem Principe weiter entwickelten, so haben sie erkannt, dass die Bewegung der Planeten in Wirklichkeit niemals streng elliptisch sein kann.

Beim Studium der Erscheinungen der Wärme werden wir den Gang verfolgen, welcher durch die geschichtliche Entwickelung vorgezeichnet ist; wir werden daher fragen:

1) welche Vorstellungen man sich bisher von der physischen Beschaffenheit der Körper machte;
2) welche Vorstellungen wir uns nach den neuen Theorien davon machen müssen;
3) welche Aenderungen diese neuen Vorstellungen in den Gesetzen bedingen, welche man früher ohne Widerspruch als gültig annahm.

Bei diesen Untersuchungen kann natürlich nicht alles, was besprochen wird, zur sinnlichen Wahrnehmung gebracht, noch experimentell bewiesen werden; wir müssen daher die Vorstellungen von Dingen, die wir weder sehen noch greifen können, durch Schlussfolgerungen bilden, indem wir an die Begriffe anknüpfen, die wir aus den Thatsachen gewonnen haben.

KAPITEL VII.

Allgemeine Vorstellung der Aggregatzustände nach der mechanischen Wärmelehre. — Gasförmige Körper.

Diejenige Vorstellung über die Natur der Körper, welche bis jetzt am allgemeinsten von den Physikern angenommen wurde, ist von Poisson [1]) in folgender Weise in Worte gefasst worden:

„Alle materiellen Theile sind zwei verschiedenen Kräften unterworfen, welche sie selbst auf einander ausüben: die erste dieser Kräfte besteht in einer Anziehung, welche von der Natur der Körper unabhängig ist und deren Grösse dem Producte der Massen direct, dem Quadrat der Entfernungen aber umgekehrt proportional ist; ihre Wirkung erstreckt sich bis in unbegrenzte Entfernungen und sie ist es, welche alle Erscheinungen des Gleichgewichtes und der Bewegung hervorbringt, mit denen sich die Mechanik des Himmels beschäftigt. Die andere Kraft kann sich als Anziehung oder Abstossung äussern, sie ist abhängig von der Natur der Molecüle und von der Wärmemenge, welche sie enthalten; ihre Intensität nimmt mit der Entfernung sehr schnell ab und ihre Wirkung wird unmerklich, sobald die Entfernung kaum wahrnehmbar ist. Die Körper bestehen aus einzelnen Molecülen, d. h. aus kleinen Theilen der wägbaren Materie von unbestimmter Grösse, welche durch leere Räume oder Poren getrennt sind, die wir durch unsere Sinne nicht wahrnehmen können. Die Molecüle sind so klein und einander so genähert, dass man einen Theil eines Körpers, der eine ausserordentlich grosse Zahl derselben einschliesst, doch als ausserordentlich klein und von unmerklichem Volumen ansehen kann . . . Jedes Molecül enthält, abgesehen von dem wägbaren Stoffe, aus dem es gebildet ist, noch eine gewisse unwägbare Materie, welcher man die Erzeugung der Erscheinungen der Wärme zuschreibt . . . Die Wärmemenge, die im leeren Raume verbreitet ist, muss als unmerklich angesehen werden im Vergleiche mit der Wärme, welche den materiellen Molecülen anhängt; denn nach den Versuchen von Gay-Lussac tritt keine Temperaturänderung ein, wenn man plötzlich das Volumen eines leeren Raumes vergrössert oder verkleinert."

Ferner hat die Berechnung der Kräfte, welche in der Masse eines Körpers wirken, gezeigt, dass die Anziehung, welche irgend

[1]) Journal de l'École polyt., 20° cahier, p. 4. S.

ein Molecül durch alle anderen Molecüle des Körpers erfährt, in zwei Componenten zerlegt werden kann: die erste ist die Wirkung der Gesammtmasse; dieselbe ist von der Gestalt des Körpers unabhängig, sodass man den Schwerpunkt als ihren Sitz ansehen darf; die zweite Componente dagegen hängt von der Vertheilung des Stoffes ab und ändert sich nothwendig mit der Gestalt des Körpers. Die letztere bewirkt die secundären Thätigkeiten, welche nur auf die kleinsten Entfernungen hin wirken und ihrer Wirkung ist es zuzuschreiben, dass die Körper die feste Aggregatsform und den krystallinischen Zustand annehmen. Wenn sich nun die Molecüle durch die Ausdehnung von einander entfernt haben, so werden diese Einwirkungen unmerklich und Anziehung nnd Abstossung sind im Gleichgewichte: dann ist der Körper tropfbar flüssig und wird endlich luftförmig, wenn die abstossende Kraft der Wärme überwiegt.

In solcher Weise wird die physische Beschaffenheit der Körper in der Theorie erklärt, welche bisher galt, und welche die Wärme als einen Stoff ansah. Da die Lehre von der Stofflichkeit der Wärme nunmehr aufgegeben ist, so muss man nothwendig ein neues Princip aufstellen, mit Hilfe dessen die Entstehung der Erscheinungen sich erklären lässt, welche man früher den anziehenden und abstossenden Kräften zuschrieb; dieses Princip nun kann kein anderes sein, als die schwingende oder fortschreitende Bewegung der Molecüle des Körpers. Für die moleculare Anziehung werden wir vor der Hand diesen Namen als Ausdruck für eine Thatsache beibehalten, am geeigneten Orte werden wir aber auch hierfür eine Erklärung geben und wir werden dann zeigen, wie sogar diese Anziehung durch die Bewegung entstehen kann. Jetzt wollen wir uns nur noch auf die Bemerkung beschränken, dass, wenn Poisson die gänzliche Abwesenheit von Wärmeerscheinungen im leeren Raume behauptet, diese Thatsache der neuen Theorie sehr günstig ist: denn es ist einleuchtend, dass, wenn der Stoff fehlt, man ihn nicht in Bewegung finden kann [1].

[1] Es ist schwer zu begreifen, wie Gay-Lussac aus seinen Versuchen hat definitive Resultate ableiten können: denn wenn er Kolben oder andere Mittel anwendet, so entsteht immer Reibung und folglich ist immer Wärme mit im Spiel. Balfour, Stuart und Tait behaupten, dass sie bei der Rotation einer Scheibe im leeren Raume Wärme beobachtet haben: die Ursache dieser Erscheinung ist noch unerklärt und die Thatsache selbst nicht ganz sicher. Wäre sie erwiesen, so könnte die Wärme vielleicht durch magnetische Induction erzeugt sein, welche die Erde auf den rotirenden Körper ausübt.

Versuchen wir nun zu erklären, wie wir uns die Bewegung im Innern der Körper vorstellen sollen.

Die unbegrenzte Ausdehnbarkeit der Gase führt ganz naturgemäss auf den Gedanken, dass sich ihre Molecüle in einer Wurfbewegung befinden, welche sie antreibt sich immer weiter von einander zu entfernen. Diese durch einen Anstoss hervorgerufene Bewegung muss infolge ihrer Trägheit dauernd fortbestehen, wenn sie sich in einem unbegrenzten freien Raum befinden, in dem sie sich nach allen Seiten hin ausbreiten: in geschlossenen Gefässen hingegen stossen sie sich gegenseitig und treffen auf die Wände, welche sie einschliessen.

Wären die materiellen Theilchen bei diesem Anpralle aller innerer Kraft beraubt, so würde ihre Bewegung verlöschen und sie würden sich mit einander vereinigen, wie es nach den Lehren der Mechanik die Atome der festen Körper thun. Die Schöpfer dieser Theorie, wie Clausius und Andere, haben den Atomen auch eine gewisse Elasticität beigelegt, in Folge deren sie zurückprallen können, wenn sie die benachbarten Theile oder die Wände der Gefässe treffen, wodurch alle ihre lebendige Kraft erhalten bleibt; da aber diese Elasticität selbst zu den secundären Kräften gehört, welche nur durch andere ursprüngliche Kräfte hervorgerufen werden, so ist es klar, dass, wenn man auch ihr Vorhandensein in einem zusammengesetzten Molecüle annehmen darf, dies nicht statthaft ist, wo es sich um elementare Atome handelt. In der That setzt die Elasticität, so wie wir sie nach den angenommenen Vorstellungen verstehen, im Innern des Molecüls einen leeren Raum voraus, welcher seine Form ändert, indem er sich zusammenzieht, um darauf in seine erste Gestalt zurückzukehren; betrachten wir nun die Atome als undurchdringliche Körper und nicht als Vereinigungen fester Theilchen, so können sie nicht leere Räume in sich einschliessen, welche ihnen Ausdehnung und Zusammenziehung gestatten. Was wir Molecüle eines einfachen, d. h. chemisch nicht zersetzbaren Gases nennen, ist nicht ein elementares Atom, oder kann wenigstens nicht ein einzelnes sein. Wenn also dieses Gasmolecül ein Aggregat von wirklichen Atomen ist, so ist es wohl möglich, dass es im Innern Poren hat und dass ihm im Allgemeinen eine gewisse Anzahl Eigenschaften zukommen, welche die Atome, aus denen es besteht, nicht haben: es ist daher nicht absurd, ihm Elasticität beizulegen. Huyghens hat diese Hypothese für den

Aether aufgestellt: nach seiner Ansicht sind die Aethertheilchen aus anderen, kleineren zusammengesetzt; prüft man aber die Sache gründlich, so sieht man, dass man auf diese Weise die Schwierigkeit zurückschiebt, jedoch ohne sie zu lösen. Wir glauben zeigen zu können, dass es durchaus nicht nöthig ist, eine solche Elasticität als ursprüngliche Kraft anzunehmen und dass die scheinbare Zurückstossung der Atome einfach auf eine ihnen eigenthümliche Bewegung zurückgeführt werden kann: hierzu genügt es, dass man ihnen eine rotirende Bewegung beilegt.

Dass auch ein fester und durchaus unelastischer Körper, welcher gleichzeitig in fortschreitende und rotirende Bewegung versetzt ist, beim Anstossen an ein festes Hinderniss sich ganz ähnlich verhält, wie ein vollkommen elastischer, hat Poinsot in einer höchst beachtenswerthen Abhandlung [1]) auf streng analytischem Wege nachgewiesen. In derselben wird gezeigt, wie ein fester Körper durch einen excentrischen Stoss in eine progressive Bewegung des Schwerpunktes und in eine Rotation um eine durch den Schwerpunkt gelegte Axe versetzt wird: beide Bewegungen aber lassen sich wieder vereinigen zu einer Rotation um eine instantane Drehungsaxe d. h. eine Axe, welche beständig ihre Lage bezüglich des Körpers ändert. [2]) Stösst nun der Körper mit irgend einem seiner Punkte gegen einen festen Widerstand, so ergeben sich Aenderungen seiner

[1]) S. Poinsot. Questions dynamiques sur la percussion des corps. Journal de Liouville, II. Série, T. II. 1857, p. 281. S.

[2]) In den Lehrbüchern der Mechanik unterscheidet man zwei Fälle der Rotationsbewegung: entweder geht die Axe, um welche sich der Körper dreht, immer durch dieselben physikalischen Punkte, und dann heisst sie permanent, oder sie gleitet von einer Punktreihe zur andern, und dann heisst sie nicht permanent oder instantan. Wird ein Gyroskop immer in derselben Stellung erhalten, so dreht es sich immer um dieselbe physikalische Axe; wenn dagegen ein durch die Luft geworfener Körper dabei Drehungen ausführt, so ändert seine Axe in jedem Augenblicke ihre Lage. So müsste die Erde vermöge ihrer Trägheit eine permanente Axe haben; allein wegen der Störungen, welche Sonne und Mond auf die äquatoreale Anschwellung ausüben, ist die Axe nicht ganz streng permanent, sondern ihr wahrer Pol beschreibt täglich einen sehr kleinen Kreis, dessen Halbmesser $0,^{m}$ 14 beträgt, um den mittleren Pol. Da diese Abweichung für unsere Messungen unmerklich ist, indem sie noch nicht den hundertsten Theil einer Secunde beträgt, so wird sie von den Astronomen vernachlässigt und bei den Breitenbestimmungen gleich Null gesetzt, d. h. man sieht die Axe als permanent an. S.

Bewegung, welche je nach der Lage jenes Punktes sehr verschieden ausfallen können. Die progressive Bewegung kann verzögert oder ganz aufgehoben, ja sie kann in die entgegengesetzte Richtung verkehrt und sogar nach der einen oder anderen Richtung beschleunigt werden. In ganz gleicher Weise kann sich auch die rotirende Bewegung auf verschiedene Art ändern: immer aber werden beide Aenderungen Hand in Hand gehen, sodass ein Zuwachs der Bewegung in dem einen Sinne stets auf Kosten der andern Bewegung erfolgt. „Es ist wohl zu beachten, sagt Poinsot (p. 309), dass ein vollkommen fester Körper nur vermöge der Bewegung, die ihm innewohnt, an seinen verschiedenen Punkten mit einer gewissen Art von Elasticität begabt sein kann: sodass der Fall eintreten kann, dass sein Schwerpunkt nach dem Zusammenstosse mit einem Hindernisse in der Richtung, die seiner ursprünglichen Bewegung entgegengesetzt ist, zurückkehrt, oder sich in der ursprünglichen Richtung mit neuer Geschwindigkeit fortbewegt, gleich als ob an der Stelle des Zusammenstosses eine Springfeder eingeschaltet gewesen wäre. Nicht minder verdient es Beachtung, dass diese Reflexionsgeschwindigkeit nicht allein denselben Werth erreichen kann, den die Geschwindigkeit des Schwerpunkts zuvor besass, wie es auch bei vollkommen elastischen Körpern der Fall ist, sondern dass sie sogar diesen Werth übersteigen und bis zu jeder beliebigen Höhe anwachsen kann, vorausgesetzt, dass die Drehung des Körpers um sich selbst genügend schnell erfolgt."

„Diese Zunahme an Geschwindigkeit, welche der Schwerpunkt des Körpers nur durch die Anwesenheit eines festes Punktes, gegen den der Körper stösst, erlangen kann, bietet der Ueberlegung eine Art von Paradoxon dar. Es scheint, dass die Bewegungsgrösse, welche in einem Körper existirt und welche stets durch das Produkt aus der Masse und der Geschwindigkeit des Schwerpunktes gemessen wird, auf keine andere Weise vermehrt werden könne, als durch den Zutritt einer neuen aktiven Kraft, welche man gegen den Körper wirken lässt. Nun findet man hier nur einen festen Punkt, der an sich nicht im Stande ist Bewegung zu erregen, sondern nur dieselbe zu zerstören vermag: und dennoch ergiebt sich, dass beim Zusammentreffen mit diesem festen Punkte ein in Bewegung befindlicher Körper nicht allein nichts von seiner Geschwindigkeit verliert, sondern plötzlich anfängt, sich mit noch erhöhter Geschwindigkeit in seiner ursprünglichen Richtung weiter zu bewegen. Mithin würde

hierbei gewissermassen Bewegung neugeschaffen sein, während man meinen sollte, dass nur Bewegung hätte verloren gehen können: und dies scheint doch den allgemeinen Grundsätzen der Dynamik durchaus zu widersprechen.

„Allein man muss bedenken, dass es in der Natur überhaupt keinen festen Punkt giebt, dass jeder Punkt, den wir als einen festen annehmen, doch eigentlich ein freier Punkt ist, von dem wir nur voraussetzen, dass die in ihm vereinigte Masse ausserordentlich gross, ja im Vergleich zur Masse des in Frage kommenden Körpers unendlich gross ist; wenn also dieser feste Punkt durch die Einwirkung einer endlichen Kraft eine nur unendlich kleine Geschwindigkeit annimmt und uns mithin unbeweglich erscheint, so muss man dennoch erwägen, dass er immerhin eine endliche Bewegungsgrösse aufgenommen hat, welche vollständig auf ihn übergegangen ist, dass also die aufgewendete Kraft nicht gestört ist, sondern ohne die mindeste Aenderung noch fortbesteht.

„Wenn man also beobachtet, dass ein Körper nach dem Zusammenstosse mit einem festen Punkte eine grössere Geschwindigkeit annimmt, als er zuvor besass, so darf man bei der Berechnung der Bewegungsgrösse nach dem Stosse nicht nur die Bewegungsgrösse in Rechnung ziehen, die der Körper selbst besitzt, sondern auch diejenige, welche er dem festen Punkte ertheilt hat. Berechnet man, wie es hier nöthig ist, den Unterschied dieser zwei Grössen, so findet man genau dieselbe Bewegungsgrösse wieder, die vor dem Stosse vorhanden war: es hat also der allgemeine Grundsatz von der Erhaltung der Kraft seine volle Geltung behalten Alles Paradoxe verschwindet, die Grundsätze der Wissenschaft erleiden keine Ausnahme, sobald man nicht den beweglichen Körper allein, sondern das aus ihm und dem Widerstand leistenden Punkte gebildete System in's Auge fasst.

„Kehren wir aber zur besonderen Bewegung des Körpers selbst zurück ohne Berücksichtigung der unmerklichen Bewegung des festen Punktes, so wird es gut sein, wenn wir eine Betrachtung anstellen, welche dem Leser wohl schon aufgestossen ist: dass nämlich die Möglichkeit, dass der Körper nach dem Anpralle gegen ein Hinderniss zurückgeworfen wird oder sich mit noch gesteigerter Geschwindigkeit in seiner Bahn weiter bewegt, im Wesentlichen in der rotirenden Bewegung, die der Körper um sich selbst ausführt, begründet ist. Denn befindet er sich nur in einer einfachen fort-

schreitenden Bewegung, so kann er niemals eine Reflexion erleiden, mit welchem Punkte er auch anstossen mag, und auch eine Steigerung seiner Geschwindigkeit kann nie eintreten: der Schwerpunkt des Körpers kann nur in seinem Laufe verzögert werden, oder auch vollständig angehalten, wenn sich das Hinderniss dem Körper in einer Richtung entgegenstellt, nach welcher der Schwerpunkt sich hinbewegt. Allein, wenn sich der Körper um sich selbst dreht, dann ist er mit jener Art von Federkraft begabt, von welcher ich oben gesprochen habe, und kann beim Auftreffen auf ein Hinderniss oder auf eine Reihe von Hindernissen, die sich ihm nacheinander entgegenstellen, alle die einzelnen oben besprochenen Umwandlungen seiner Bewegungen zeigen.“ [1])

Bekannte Beispiele für die Reflexion rotirender Körper sind die Bewegung der Scheiben, welche von Discuswerfern geschleudert werden, das Ricochettiren der Scherben auf der Wasseroberfläche, die besondere Art, wie drehende Kreisel abprallen u. s. w. Die Billardspieler wissen sehr wohl, wie bedeutend die Rotation die Ge-

[1]) Der Uebersetzer hat sich zwar durchaus die Aufgabe gestellt, die Ansichten des berühmten Verfassers in möglichst wortgetreuer Uebersetzung und ohne eigene Zuthat wiederzugeben: allein im vorliegenden Falle fühlte er sich doch veranlasst die letzten Seiten auf Grund der Poinsot’schen Abhandlung selbständig zu bearbeiten, da ihm aus des Verfassers Darstellung, welche an dieser Stelle sowohl in der italienischen Ausgabe, als noch mehr in der französischen Bearbeitung nicht übermässig deutlich ist, hervorzugehen schien, dass Secchi in Anwendung der Poinsot’schen Theoreme doch zu weit gegangen sei. Namentlich hat die letzte Partie den Verfasser wohl verleitet, den Begriff von der Erhaltung der Kraft weiter auszudehnen, als es Poinsot selbst thut, indem er dort die lebendige Kraft zu substituiren scheint, wo Poinsot nur von der Bewegungsgrösse spricht. Wenn Poinsot zeigt, dass ein Zuwachs an fortschreitender Bewegung nur dann eintreten kann, wenn gleichzeitig die rotirende Bewegung Verlust erleidet, so folgt daraus noch nicht, dass dieser Verlust nicht mehr betrage, als jener Gewinn, sondern im Gegentheile ergiebt die Rechnung, dass in dem Falle, dass der Körper beim Rückpralle mit derselben Geschwindigkeit, die er zuvor besass, entweder ein Drittel oder zwei Drittel seiner Rotationsgeschwindigkeit eingebüsst hat. Leider wurde der Uebersetzer auf diese Unklarheit erst nach Secchi’s Tode aufmerksam, sodass es ihm nicht möglich war, des Verfassers Meinung zu erbitten, die ihm in mehreren anderen Fällen mit freundlichster Bereitwilligkeit gewährt wurde. Eine eingehende Kritik der Secchischen, wie auch anderer Theorien über die Constitution der Materie, findet man bei Isenkrahe, Das Räthsel von der Schwerkraft (Braunschweig, 1879). Sch.

setze vom Stosse elastischer Körper abändert. Auch die Wilden Australiens erzielen mit ihrem Boomerang sehr merkwürdige rückgängige Bewegungen. Diese Waffe (Fig. 5) besteht aus einem dünnen, aber langen Stücke Holz in Form eines stumpfen Winkels. Wird dieses Geschoss auf eine gewisse Weise geworfen, so geräth es in eine heftige Rotationsbewegung, beschreibt seine Bahn durch die Luft, trifft auf den Gegenstand, nach welchem man gezielt hatte, und fällt, wenn der Wurf geschickt ausgeführt war, vor den Füssen des Kriegers nieder, der es einen Augenblick zuvor geschleudert hatte. Der Boomerang kehrt sogar oft zurück ohne auf einen festen Körper zu treffen, nur unter dem Einflusse des Widerstandes der Luft; einen ähnlichen Versuch kann man leicht im kleineren Massstabe im Zimmer anstellen, wenn man dazu ein Stück Pappe, das in der angegebenen Form geschnitten ist, benutzt.

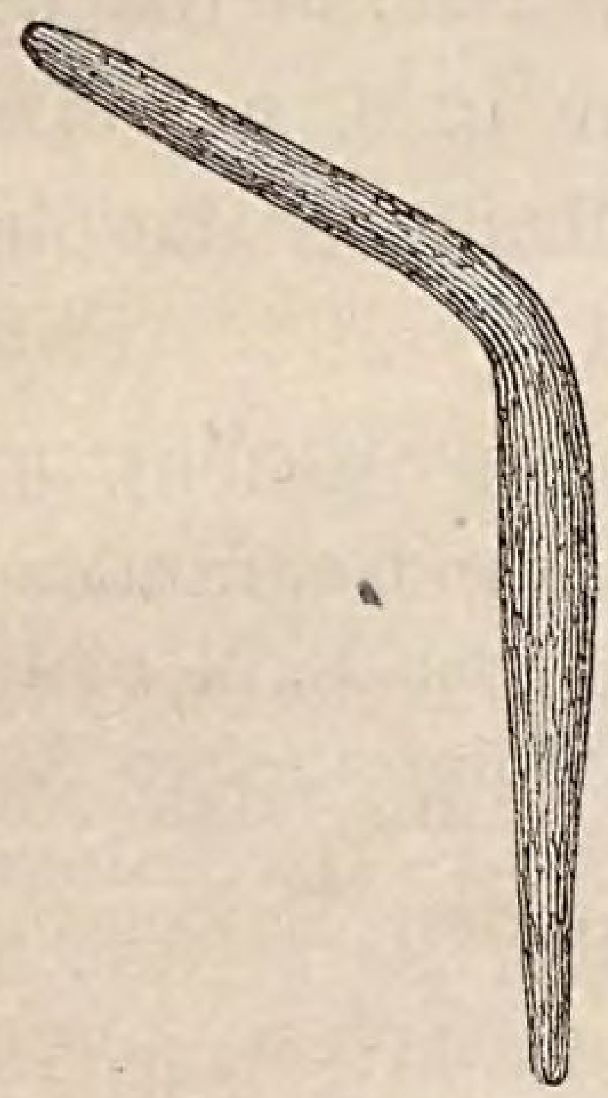


Fig. 5.

Nach diesen Ueberlegungen liegt es nahe, dass wir den Molecülen der Körper eine möglichst allgemeine Bewegung beilegen; wir nehmen daher an, dass sie sich gleichzeitig in rotirender und fortschreitender Bewegung befinden. Auf diese Weise werden manche Erscheinungen verständlich, über welche die bisher angenommenen Hypothesen schwerlich Auskunft geben können: wir wollen z. B. darauf hinweisen dass die Elasticität allein nicht genügen kann, um die Erscheinungen der Verbreitung der Wärme vollständig zu erklären. Wird eine Bewegung in einem elastischen Mittel, d. h. in einem Stoffe, der aus elastischen Molecülen besteht, erregt, so kann dieselbe niemals zurückkehren, sie müsste denn auf einen widerstehenden fremden Körper treffen oder an einen Punkt gelangen, wo sich die Dichtigkeit des Mittels ändert: sie könnte nur eine beständig fortschreitende Welle erzeugen. Nun aber ist der Vorgang bei der Verbreitung der Wärme ein anderer: bringt man während einer gewissen Zeit eine Wärmequelle in Berührung mit dem Ende einer horizontalen Röhre, die mit Gas gefüllt ist, oder einer Metallstange, so breitet sich die Wärmebewegung in der Längsrichtung aus; entfernt man die Wärmequelle, so wird das erwärmte Ende auch fernerhin eine mehr oder weniger erhöhte Temperatur zeigen. Wird dagegen eine Luftsäule oder ein Metallstab durch einen schwingenden Körper an einem Ende in Bewegung gesetzt, so kommt dieser

Theil sofort in Ruhe, sobald der erregende Körper entfernt ist, wie es immer stattfinden muss in einem Mittel, welches nur die Fähigkeit besitzt die Bewegungen nach Art der elastischen Körper fortzupflanzen. Für die Wärme muss es also eine besondere Art der Uebertragung der Bewegung geben, bei welcher letztere auch zurückkehren und sich nach allen Richtungen hin ausbreiten kann; und es scheint, dass diese Art der Ausbreitung sich von den Vorgängen durchaus nicht unterscheidet, die Poinsot in der oben erwähnten Abhandlung für auf einander stossende rotirende Körper nachweist. Besteht die Masse, welche in solcher Weise erregt ist, aus sehr vielen kleinen Theilen, so wird sich nach einiger Zeit immer eine Art Gleichgewicht herstellen zwischen der Bewegungsgrösse, die für die Rotation verloren geht, und der, welche für die fortschreitende Bewegung gewonnen wird oder umgekehrt. Für ein einzelnes Molecül lässt sich ein solcher Zustand des Ausgleichs der beiden Bewegungen freilich nicht annehmen; befindet es sich aber mitten zwischen vielen anderen, so kann es gar nicht ausbleiben, dass die ganze Masse schliesslich in einen solchen Zustand geräth. Trifft nun eine plötzliche, zufällige Störung die Masse, so wird jenes Molecül zwar seine Lage in dem Zusammenhange der übrigen verändern, allein bald wird sich für dasselbe wieder ein ähnlicher Gleichgewichtszustand hergestellt haben, so dass man annehmen kann, dass die Bewegungsgrösse der Rotation und der fortschreitenden Bewegung in einem bestimmten Verhältnisse stehen, das seine Grösse ungeändert beibehält, bis es durch specielle äussere Ursachen gestört wird.

Wenn es nun vielen noch nicht recht einleuchten will, dass jene innere Bewegung in den Körpern stets erhalten bleibt, so hat dies seinen Grund in der irrigen Annahme, dass die anderen Körper, in deren Mitte sich ein bestimmter Körper befindet, jener Bewegung bar seien. Dies ist falsch: jeder Körper besitzt Wärme, und daher ist jeder Körper in seinem Inneren in einer gewissen inneren Bewegung, die wir als eine vibrirende oder rotirende auffassen dürfen. Es kann also nur ein Austausch an lebendiger Kraft eintreten, welcher auch beständig zu Gunsten des kälteren und zum Nachtheile des wärmeren Körpers stattfindet. Dies gilt nicht nur für diejenigen kleinen Körper, welche sich in nächster Nähe bei einander finden, sondern auch für die gewaltigsten Massen des Weltalls. In jedem Weltensysteme existirt ein Centralkörper, welcher, mit grösserer lebendiger Kraft begabt als die anderen Glieder des Systems, den-

selben immer von dieser Kraft mittheilt, wie z. B. in unserem Systeme die Sonne mit ihrer Wärme alle anderen Körper belebt. Dabei verliert die Sonne wirklich von ihrer Kraft, und im ganzen Systeme strebt die Energie nach Ausgleich, indem sie von der Sonne nach allen Seiten hin ausstrahlt. So wird einmal die Zeit kommen, in welcher sich Alles ausgeglichen hat, und damit wird die jetzige Ordnung der Dinge zu bestehen aufhören, da dieselbe gerade in dieser Ungleichheit der Energie zwischen Sonne und Planeten ihren Grund hat. Und was wir von unserem besonderen System gesagt haben, das lässt sich ganz allgemein für alle die unzähligen Systeme, die das Weltall bilden, wiederholen. Dass die Energie in einem Punkte mehr concentrirt ist als im anderen, ist eine von den Grundursachen für den Bestand des Weltalls, für welche wir einen anderen Grund als den Willen des Urhebers aller Dinge niemals auffinden werden. Die secundären Ursachen dafür aufzufinden, ist dagegen nicht schwer.

Die Quelle aller Energie in unserm System ist die Sonne, deren Kraft wieder einfach aus der Massenanziehung entspringt. Wenn sich ihre Masse, wie vielfach angenommen wird, durch Verdichtung der Theile des ursprünglichen Nebels, der den Raum des Systems erfüllte, gebildet hat, so musste bei dieser Concentration eine Wärmeentwickelung erfolgen, welche bedeutend grösser war als die jetzt noch auf der Sonne vorhandene, da sie sich im Lauf der Jahrtausende schon zum Theil zerstreut hat. Ebenso lässt sich zeigen, dass die Wirkungen der Anziehungskraft, welche die Sonne mit ihrer ganzen Masse auf sich selbst ausübt, oder anders ausgedrückt, dass die Verdichtung infolge des Verlustes an Wärme durch Strahlung genügt um den Verlust an Temperatur, der durch die Strahlung selbst entsteht, wieder zu ersetzen. Hierauf aber kommen wir wohl noch einmal an einem geeigneteren Platze zurück.

Als Antwort auf obige Einwände mag dies genügen um zu zeigen, dass in der Wirklichkeit alles auf das grosse Problem der Mittheilung der Bewegung hinausläuft; und in der That, wenn man eine Vorstellung davon hat, dass eine Bewegung von einer Kugel auf eine andere übergeht und dadurch ihrer ganzen Grösse nach erhalten bleibt, so ist es auch durchaus nicht mit grösseren Schwierigkeiten verbunden zu begreifen, dass eine sehr grosse Zahl von Bewegungen, die nach unseren Massen unendlich klein sind, in den unzähligen kleinsten Theilen im Innern eines Körpers erhalten bleibe.

Treten wir nun der Frage näher, ob Temperatur und Energie

der Wärme auch auf Rotationsbewegungen beruhen, oder ob sie sich nur auf fortschreitende Bewegungen beschränken müssen. Sobald wir uns in unseren Betrachtungen über die Wirkung der Temperatur nur auf die Arbeit beschränken, die beim Zusammenstosse geleistet wird, so ist es klar, dass wir nur die fortschreitende Bewegung ins Auge zu fassen haben; die Rotationsbewegung wird nicht zur Geltung kommen, so lange der Körper in demselben Zustande verbleibt, es müsste denn sein um den mittleren Zustand des inneren dynamischen Gleichgewichtes zwischen beiden Bewegungen wieder herzustellen. Daher kann man sagen, dass die Temperatur der lebendigen Kraft der Molecüle oder Atome im Innern proportional, nicht aber, dass sie ihr gleich ist, denn dazu fehlt der Theil, der die Ergänzung für die Rotationsbewegung ausmacht. Wir werden seiner Zeit sehen, welche Wirkung eine Aenderung der Rotationsbewegungen in den Körpern hervorbringt; jetzt wollen wir nur einen besonderen Fall besprechen.

Wenn sich die Molecüle in drehender Bewegung befinden, so werden sie beim Zusammenstosse in der Regel von einander abprallen; denn ihre drehende und fortschreitende Bewegung können sich nicht so aufheben, dass die Theilchen mit einander vereinigt bleiben, ausgenommen in dem Falle, dass der Zusammenstoss in der Richtung der Rotationsaxe erfolgt. Sobald hierbei die Rotationsaxen beider Molecüle permanent sind, so werden sich sowohl ihre fortschreitenden, als auch ihre drehenden Bewegungen zu Resultanten zusammensetzen, und die Molecüle werden, ohne von einander abzuprallen, ihren Weg gemeinsam fortsetzen; wenn dagegen die Axe nicht permanent ist, so ist die Zusammenfügung der materiellen Theilchen nicht nothwendig, wohl aber möglich; berücksichtigen wir aber die zahlreichen Bedingungen, denen die rotirenden Körper genügen müssen, um in solcher Weise angehäuft zu bleiben, so können wir sagen, dass die Wahrscheinlichkeit ihrer Vereinigung unendlich klein ist.

Setzen wir den Grenzfall voraus, dass zwei Atome auf einander stossen, welche entweder nur fortschreitende Bewegung besitzen, oder auch sich in solcher Weise treffen, dass sie nicht von einander abprallen können, indem sie in der Richtung ihrer Rotationsaxen auf einander stossen, so werden diese zwei Atome augenscheinlich mit einander vereinigt bleiben gerade wie die Atome eines festen Körpers, sie werden ein System bilden, welches die fortschreitende Bewegung besitzt, die aus den beiden ursprünglichen resultirt. Dieses System

wird sich wie ein einfacher Körper von doppelter, dreifacher im Allgemeinen mehrfacher Masse verhalten, je nachdem sich zwei, drei oder mehr Atome in dieser Weise vereinigt haben. Wir haben hierin ein klares Beispiel für ein Aggregat von Atomen, welche untereinander nicht durch irgend welche anziehende Kraft, sondern nur durch ihre Trägheit verbunden sind. Diese Gruppe wird eine gewisse Cohäsion zeigen; denn um sie zu zerstören, wird eine äussere Kraft nothwendig sein, welche im Stande ist die Trägheit der Atome, die das so zusammengesetzte Molecül bilden, zu überwinden.

Wir massen uns nicht an, durch vorstehende Bemerkung die Cohäsion erklärt zu haben; sondern wir haben blos ein sehr einfaches Mittel andeuten wollen, wie gewisse Verhältnisse des Zusammenhanges der materiellen Molecüle sich erklären lassen. Ehe wir nun weiter gehen, ist es nothwendig die verschiedenen Gruppen von Atomen von einander zu trennen. Wir unterscheiden:

1) die isolirten und ursprünglichen Atome, welche man am besten ausschliesslich Atome nennt;
2) die zusammengesetzten Gruppen gleichartiger Atome, die eine mehr oder weniger complicirte Form besitzen, und die man elementare Molecüle nennen könnte. Vielleicht entstehen durch die verschiedene Anordnung der Atome in diesen Gruppen die verschiedenen Substanzen, die man bisher noch nicht chemisch zersetzen konnte, und die man einfache Körper oder chemische Elemente nennt;
3) die Molecüle der chemischen Verbindungen, welche durch Vereinigung dieser elementaren Molecüle entstehen und welche man, streng genommen, mit einem besonderen Namen bezeichnen muss: nennen wir sie chemische, oder, wenn man will, heterogene Molecüle; und endlich
4) die kleinsten Körpertheilchen, die durch Vereinigung homogener oder heterogener Molecüle entstehen und aus denen durch Anordnung nach bestimmten, später zu erwähnenden Gesetzen die integrirenden Molecüle der Krystallographie hervorgehen.

Wenn wir uns an die oben erklärten Ausdrücke auch nicht ganz in aller Strenge binden wollen, so werden wir ihre Unterschiede doch möglichst einhalten, besonders aber in allen Fällen, wo es die Deutlichkeit der Auseinandersetzung erfordert.

Wir haben gesehen, dass es nicht nöthig ist in den Gasen andere abstossende Kräfte, als die durch moleculare Bewegung erzeugten, vorauszusetzen, da man durch letztere die Erscheinungen der Elasticität und der Ausdehnbarkeit erklären kann. Daher dürfen wir jetzt die alte Hypothese von dem Vorhandensein von abstossenden Kräften in der Materie aufgeben, deren geringste Schwierigkeit darin bestand, die Grenzen zu bestimmen, bei welchen diese geheimnissvollen Kräfte ihre Thätigkeit aufgeben und ihrem Gegner, der Anziehungskraft, erlauben seine Wirkung zu beginnen.

In der That, wie sollte man sich auch nicht durch folgenden Einwurf bestimmen lassen die alte Theorie aufzugeben? Kein Körper widersteht einer beliebig hohen Steigerung der Temperatur, ohne dass sich der Zusammenhang seiner Theilchen löse: zuerst schmilzt er, dann geht er in den luftförmigen Zustand über, und endlich löst er sich in seine elementaren Molecüle auf. Während nun die Wärme mit so grosser Gewalt die Trennung der Theile bewirkt, wenn sie in unendlich kleinen Entfernungen wirkt, so wird ihre Wirkung vollständig Null für grosse Entfernungen: ja sogar bei Entfernungen, die sich durch ihre Kleinheit unserer Wahrnehmung entziehen, ist noch durchaus kein Anzeichen von der Wirksamkeit dieser Kraft vorhanden. Diese Eigenschaft steht in durchaus keinem Verhältnisse zu dem Verhalten der gegnerischen Kraft, der Anziehung: denn diese wirkt unter dem Namen der allgemeinen Massenanziehung noch bis in die grössten Entfernungen.

Diese Thathsache kann in der alten Theorie keine Erklärung finden, man müsste denn die Grenzen, bis zu welchen die moleculare Abstossung wirkt, ganz willkürlich festsetzen: aus der mechanischen Theorie dagegen lässt sie sich leicht verstehen; denn jede abstossende Kraft muss nach derselben da aufhören, wo ein Zusammenstoss der Theilchen nicht mehr stattfindet, das ist also an der Grenze, bis zu welcher die Theilchen bei ihren Oscillationen schwingen. Diese Grenzen sind nun bei den Gasen sehr weit, während sie bei den festen und flüssigen Körpern ziemlich beschränkt sind, da sie durch den gegenseitigen Abstand der Molecüle bestimmt werden.

Die Flüssigkeiten, und besonders die expansibeln Flüssigkeiten, besitzen gewisse mechanische Eigenthümlichkeiten, welche die Folge des besonderen Zustandes sind, in dem sich die Stoffe befinden, und über welche jede Theorie Rechenschaft geben muss. Dahin gehört z. B. die gleichmässige Fortpflanzung des Druckes nach

allen Seiten. Nehmen wir nun die Erklärung an, die wir über die Zusammensetzung der Gase gegeben haben, d. h. setzen wir voraus, dass die Atome eines Gases in immerwährender Bewegung seien, so lässt sich jene Erscheinung leicht begreifen: ein solches Mittel muss nicht nur eine unbegrenzte Expansionskraft besitzen, sondern es muss auch nach allen Seiten hin einen gleichmässigen Druck ausüben, und dieser Druck ist es, den wir mit dem Namen seiner Spannung bezeichnen.

Um dies zu beweisen, wollen wir annehmen, dass die Heftigkeit des Zusammenstosses oder die Zahl der Molecüle, die auf einander stossen, an einem Punkte grösser sei, als an dem andern, so werden die Molecüle in der Richtung nach dem letzteren hin auf geringeren Widerstand stossen, und folglich wird nach diesem Punkte hin ein Zuströmen der Materie und dadurch eine Beschleunigung der Bewegung eintreten. In dieser Weise sucht die innere Bewegung einen Ausgleich der Intensität herbeizuführen, der ein Ende erreicht, sobald eine Art dynamischen Gleichgewichtes hergestellt ist, d. h. sobald alle Molecüle gleiche Geschwindigkeit besitzen und beim Stosse eine gleiche lebendige Kraft entwickeln, und also auch, da wir ihre Massen als gleich annehmen dürfen, überall dieselbe Arbeit verrichten, d. h. mit anderen Worten nach allen Richtungen hin in gleicher Stärke drücken. Dieser Druck ist also streng genommen nicht eine statische, sondern eine dynamische Erscheinung, da sie die Folge von der Gleichheit des Stosses der Gasmolecüle und der Molecüle der Wände des Gefässes ist; denn auch letztere können wir uns in einer schwingenden Bewegung vorstellen, welche aber durch die Kräfte, deren Thätigkeit den festen Zustand des Gefässes herbeiführt, bedeutend eingeschränkt wird.

Die vorstehenden Betrachtungen können wir dahin zusammenfassen, das nach der mechanischen Wärmelehre die Temperatur von der Grösse der Thätigkeit oder der lebendigen Kraft jedes Molecüles abhängt: oder, da jedes Molecül eine gewisse Geschwindigkeit besitzt, so ist die Stärke, mit der es auf andere Molecüle stösst, das Mass für seine Temperatur. Da nun, wie wir gesehen haben, das mechanische Aequivalent der Wärme eine ziemlich grosse Zahl ist, so folgt hieraus, dass sich für die in einem Gase enthaltene lebendige Kraft, deren Zahlenwerth wir bald mittheilen werden, eine ungeheure Grösse ergiebt. Aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, erscheint der Uebergang der Wärme von einem Körper

zu dem andern nur als eine einfache Mittheilung von Bewegung, und wenn die Temperatur beständig strebt sich auszugleichen, so liegt der Grund dafür in dem Streben der Wärmebewegung, die ganze Masse gleichmässig zu durchdringen. Die Mittheilung dieser lebendigen Kraft an einen Körper, oder auch die Vergrösserung derselben in dem Körper kann die Folge eines mechanischen Effectes oder auch eines chemischen Vorganges sein: in allen Fällen aber sieht man, dass der Körper, der die grössere Energie besitzt, einen Theil seiner Kraft an den anderen, der eine geringere Bewegungsgrösse enthält, abgiebt, gerade so, wie es bei anderen Bewegungen auch geschieht. Wird daher ein Gas mit einem Körper in Berührung gebracht, dessen lebendige Kraft geringer ist, so wird es einen Theil seiner Kraft auf denselben übertragen, und die Folge dieses Verlustes wird die sein, dass die Schwingungsweite seiner Molecüle geringer wird: der umgekehrte Fall wird eintreten, wenn die Bedingungen die entgegengesetzten sind.

Alle bisher besprochenen Bewegungen setzen voraus, dass das Gas ein vollkommenes sei: d. h. dass seine Molecüle von jedem Einflusse der Kräfte, welche man als moleculare Anziehungen bezeichnet, vollständig frei seien. Denn nur dann können sich zwei Molecüle, die auf einander treffen, unmittelbar nach dem Zusammenstosse sofort trennen, ohne dass irgend welche Verzögerung eintritt oder lebendige Kraft verloren geht: sind dagegen diese Molecüle nicht einfache feste Punkte, sondern sind vielleicht mehrere derselben zu Gruppen vereinigt, oder ist jedes von einer Atmosphäre aus einem feineren Stoffe umgeben, so gestaltet sich der Fall ganz anders, d. h. jedes Molecül wird beim Eintritt in die Sphäre des anderen dem Einflusse derselben unterworfen sein. Dass bei einer solchen Wanderung eines Molecüles durch die Sphäre eines anderen ein Verlust an lebendiger Kraft stattfindet, ist nicht unbedingt nothwendig: letztere wird dieselbe Grösse behalten, wenn der Weg, den das Molecül beim Eintritte durchläuft, genau mit dem übereinstimmt, den es beim Austritte zurücklegt. Denken wir uns, das Molecül a (Fig. 6) sei von der Atmosphäre n p k umgeben, so würde ohne Anwesenheit dieser Atmosphäre das Molecül m seinen Weg in gerader Linie nach k fortsetzen; durch den Einfluss der Atmosphäre aber kann es möglicher Weise in die gekrümmte Bahn n a gelenkt werden und mit a zusammenstossen; verlässt es hierauf die Atmosphäre bei p, so wird es von da an seinen Weg wieder in gerader Richtung p q

fortsetzen. Ist nun der Bogen n a dem Bogen a p vollkommen gleich, so wird die Einwirkung des Molecüles a an der Intensität der Wurfbewegung nichts ändern: der Vorgang geht nur in der Weise vor sich, dass das Umwenden im Laufe längs einer Curve erfolgt, die ihren Scheitel in a hat, anstatt dass ein plötzliches Zurückprallen von einem einfachen Widerstande im Punkte k, nach welchem es bei seiner ersten Bewegung hinstrebt, stattfindet.

Ist nun der Raum, den die einzelnen Molecüle einnehmen, gering im Vergleiche mit dem, den das Gas als Ganzes erfüllt, und sind die Attractionssphären gleichmässig dicht und den gegenseitigen Abständen der Molecüle gegenüber klein, so wird die Einwirkung derselben unmerklich sein und man kann ihre Existenz unberücksichtigt lassen. Anders aber gestaltet sich die Sache, wenn infolge einer am Molecüle a geleisteten Arbeit der Rückweg eine andere Gestalt annimmt, als der Hinweg. Eine solche Arbeit kann in Umformung der fortschreitenden Bewegung in Rotation, oder in einer Aenderung in der Anordnung der Theilchen in der kugelförmigen Hülle, oder endlich auch darin bestehen, dass die Aethertheilchen, welche das Molecül umgeben, in Bewegung gesetzt werden. In allen diesen Fällen wird das Gas sich nicht mehr genau so verhalten können, wie ein vollkommenes Gas, zu dessen hervorragendsten Eigenschaften gehört, dass der Zuwachs an Energie der einzelnen Molecüle mit der Erhöhung der thermischen Kraft streng proportional ist; hieraus folgt, dass auch die Ausdehnung bei gleicher Temperaturerhöhung stets von derselben Grösse ist, oder dass mit anderen Worten der Ausdehnungscoëfficient für alle Temperaturen constant bleibt. Die atmosphärische Luft und die Bestandtheile derselben zeigen dieses Verhalten ziemlich rein, sodass man diese drei Stoffe nahezu als vollkommene Gase ansehen darf.

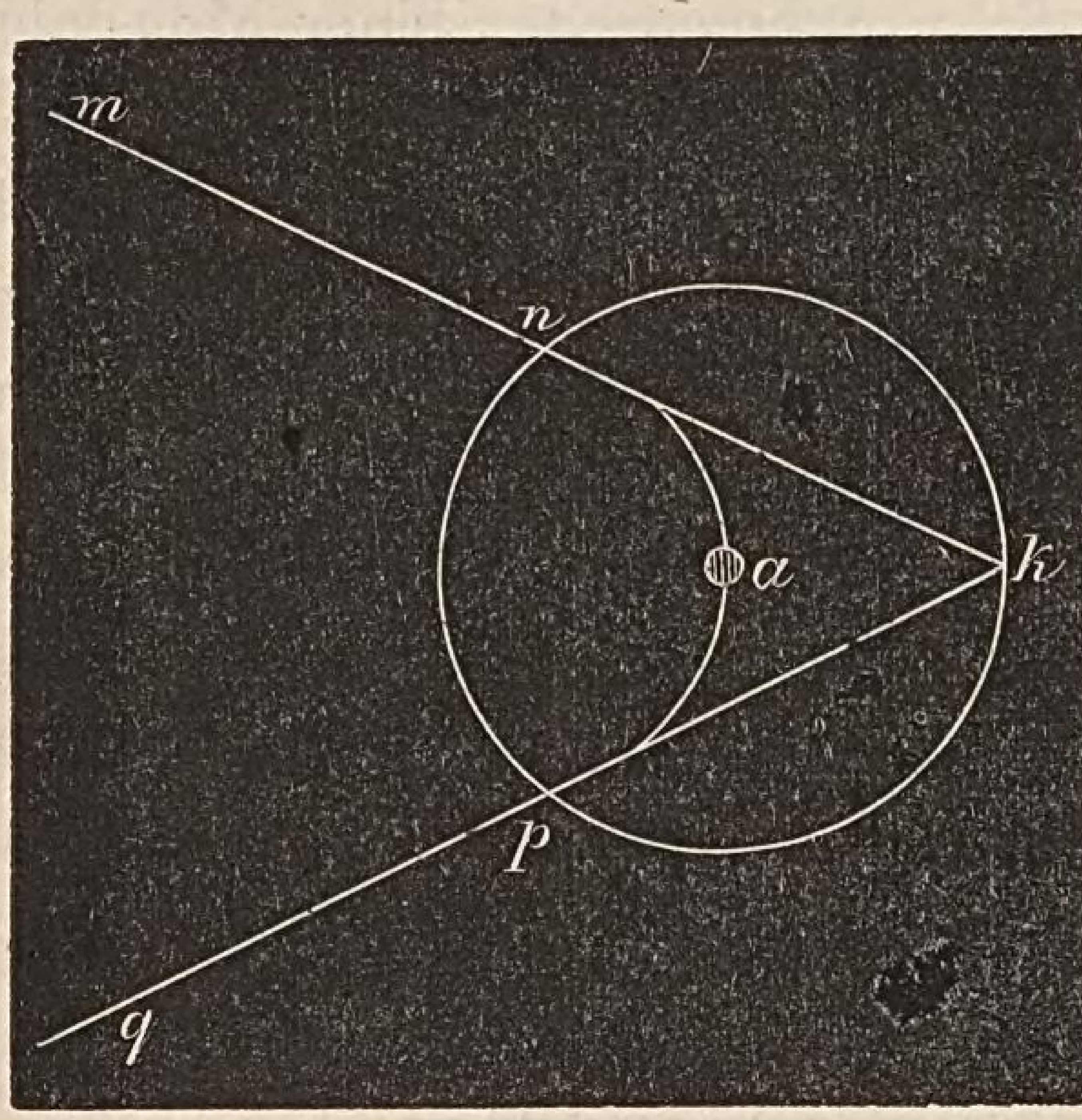


Fig. 6.

Allein da durch die Beobachtungen Regnaults bewiesen worden ist, dass der Ausdehnungscoëfficient wirklich für alle Gase, mit Ausnahme des Wasserstoffes und der Bestandtheile der atmosphärischen Luft

veränderlich ist, so ersieht man hieraus, dass die Gesetze Mariotte's und Gay- Lussac's nur annäherungsweise gültig sind, und man muss daher immer statt der durch die Beobachtung bestimmten Druckkräfte p und p' Ausdrücke von der Form p + R und p' + R' in Rechnung ziehen, bei welchen R und R' unbekannte Grössen sind, welche den zu überwindenden inneren Widerstand ausdrücken. Ebenso muss man an Stelle der Volumina V und V', welche das Gas einnimmt, Werthe einsetzen, welche man dadurch erhält, dass man von V und V' vorher das Volumen ψ, das von den materiellen Molecülen des Gases eingenommen wird, abgezogen hat. Dadurch erhält man nach Hirn[1]) folgende Formel als Ausdruck des Gesetzes:

$$\frac{p' + R'}{p + R} = \frac{V - \psi}{V' - \psi} \cdot \frac{T'}{T}.$$

In dem Falle, dass das Gas permanent und das Volumen ψ der Molecüle im Verhältniss zu V sehr klein ist, wird das Gay-Lussac'sche Gesetz anwendbar, indem dann ψ, R und R' verschwindet. Hieraus kann man schliessen, dass in den Gasen, bei welchen es Gültigkeit besitzt, die Molecüle im Verhältniss zum ganzen eingenommenen Raume sehr klein sind. Clausius hat berechnet, dass in diesen Fällen das Gesammtvolumen aller Molecüle mit ihren Hüllen weniger als $^1/_{1000}$ des vom Gase eigenommenen Volumen betragen muss: das Volumen der Molecüle ohne Hülle muss daher noch bedeutend kleiner sein. Für Dämpfe werden wir dagegen später zu einem wesentlichen anderen Resultate kommen.

Man darf also den absoluten Nullwerth, von dem wir weiter oben sprachen, nur unter der Voraussetzung eines permanenten Gases nach dem Gay-Lussac'schen Gesetze berechnen. Setzt man in diesem Falle das Volumen des Gases

$$V = V_0 (1 + \alpha t),$$

wo α den Ausdehnungscoëfficienten bedeutet, und erniedrigt man die Temperatur bis zum Werthe $t = - {^1/_\alpha}$ unterhalb des gewöhnlichen Nullpunktes, so hat man

$$V = V_0 (1 - \alpha \cdot {^1/_\alpha}) = V_0 (1 - 1) = 0,$$

d. h. man erhält für das Volumen den Werth Null, oder was dasselbe ist, die Expansivkraft ist verschwunden. Da für die permanenten Gase, z. B. für Wasserstoff, $\alpha = 0{,}003665$ ist, so findet man

[1]) Théorie mécanique de la chaleur. II. édition. I. Theil, p. 224. S.

STAATSBIBLIOTHEK BAMBERG

$t = -273^{\circ}$, welchen Werth wir schon früher als absoluten Nullpunkt angegeben haben. Clausius hat weiter versucht, die wahrscheinliche Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher sich die Molecüle bei einer bestimmten Temperatur bewegen; und obgleich das Ergebniss ein wenig unsicher ist, so wollen wir es doch mittheilen. Bei der Temperatur des schmelzenden Eises findet er eine Geschwindigkeit in der Secunde:

für Stickstoff von 492^{m}
„ Sauerstoff „ 461
„ Wasserstoff „ 1844 [1]).

Die Kraft für die fortschreitende Bewegung würde sich nach Clausius zur Gesammtkraft, bei welcher auch die Rotationsbewegung Berücksichtigung findet, verhalten wie 0,6315 zu 1.

Von den zahlreichen Versuchen, welche man angestellt hat, um auf experimentellem Wege diese theoretisch aufgefundenen Werthe zu bestimmen, wollen wir nur die erwähnen, die Graham [2]) über die Diffusion und Joule über das Ausströmen der Luft aus sehr feinen Oeffnungen ausgeführt hat. In beiden Fällen fand man, dass die Geschwindigkeit beim Strömen im umgekehrten Verhältnisse zu den Quadratwurzeln aus den Atomgewichten steht. Wenn also die Temperatur als Mass für die lebendige Kraft in den Gasen anzusehen ist, und wenn man die Atomgewichte für zwei Gase mit P und P′ bezeichnet, ihre Ausströmungsgeschwindigkeit bei gleicher Temperatur aber mit V und V′, so gilt die Gleichung

$$P V^2 = P' V'^2, \text{ oder } V : V' = \sqrt{P'} : \sqrt{P};$$

und da die Dichtigkeit der Gase dem Atomgewicht proportional ist, so ist auch

$$V : V' = \sqrt{d'} : \sqrt{d}.$$

Aus diesem Gesetz erkennt man, warum sich mittels des Diffusiometers von Graham gemengte Gase von verschiedenem specifischen Gewichte von einander trennen lassen, da die Mengen, welche vom leichteren Gase austreten, grösser sind als die vom schwereren: so wird das Volumen des austretenden Wasserstoffes, welcher 16 mal

[1]) Clausius, Pogg. Ann. Bd. C. Abhandl. z. mech. Wärmetheorie II, p. 229 ff. In den Protuberanzen der Sonne fand der Verfasser eine Geschwindigkeit von 90,5 Kilometer. S.

[2]) Ueber die Versuche von Graham s. Comptes Rendus, 27. Juli 1863. V. LVII, p. 181. S.

leichter ist, als Sauerstoff, $\sqrt{16} = 4$ mal so gross sein, als das Volumen des Sauerstoffes.

Die Geschwindigkeit, mit der ein Gas aus einer Oeffnung austritt, kann als die Fortsetzung des Weges angesehen werden, den es im Innern der Masse zurücklegte, und daher müsste sie, unabhängig von der Dichtigkeit und dem Drucke, nur von der Temperatur abhängen: allein die Versuche haben gezeigt, dass dies nur gilt, wenn das Gas in einen luftleeren Raum strömt. Erfolgt das Ausströmen in die freie Luft, so hat das Gas beständig eine äussere Arbeit zu leisten, indem es den constanten Druck der Luft immerfort aufheben muss. Dabei kühlt sich das Gas ab und hieraus erklärt sich die Abkühlung der luftförmigen Körper beim Ausströmen aus Behältern, in denen sie verdichtet waren, in die Luft: anders verhält es sich, wenn das Ausströmen erfolgt, ohne dass eine äussere Arbeit geleistet wird, wie wir bei dem Experimente von Joule, S. 67, erwähnten.

Man könnte hier folgende Einwendung machen: besitzt die Geschwindigkeit der Gase einen Werth, der sich von der Ausbreitungsgeschwindigkeit im leeren Raume nur wenig unterscheidet, so musste man erwarten, dass sich ihre Mischung in sehr kurzer Zeit vollzöge, während man doch durch Beobachtung gefunden hat, dass diese Mischung, ebenso wie die Diffusion, nur sehr langsam vor sich geht. Hierauf hat Clausius dadurch geantwortet, dass er die Wahrscheinlichkeit dafür berechnete, dass ein Molecül des überströmenden Gases auf einer bestimmten Strecke mit keinem Molecül des Gases, in welches hinein die Diffusion erfolgt, zusammenstösst. Er fand diese Wahrscheinlichkeit sehr klein, so dass man annehmen kann, dass jedes Molecül wegen der häufigen Stösse seinen Weg auf ziemlich verschlungenen Bahnen, und deshalb auch ziemlich langsam fortsetzen muss. Hieraus erklären sich auch die schmalen Gasstreifen, die wie Adern jede gewöhnliche Flamme durchziehen, und sich auch sonst noch beim Ausströmen von Gasen häufig zeigen.

Die Theorie der Gase hat zur Construction von Maschinen geführt, bei denen erhitztes Gas der einzige Motor ist. Theoretisch betrachtet, könnte man meinen, dass dieselben sehr grossen Nutzen bringen könnten, in der Praxis aber zeigen sie erhebliche Uebelstände, wenigstens wenn es sich um grössere Kraftentwickelung handelt: denn da in diesem Falle ihr Volumen sehr gross sein muss, damit

eine genügende Menge von Gas auf eine ziemlich hohe Temperatur erhoben werden kann, so geht auch in ihren Theilen immer eine beträchtliche Menge Wärme verloren, und damit verschwindet auch der Vortheil, den sie vor den Dampfmaschinen voraus haben könnten.

Auch zusammengepresste Gase können als Motoren dienen, und so ist es bekannt, dass bei Durchstechung des Mont Cenis die Bohrmaschinen von Sommellier durch comprimirte Luft in Gang gesetzt wurden, wobei der angewendete Druck nur 5 Atmosphären betrug. Seitdem ist die comprimirte Luft ein höchst geeignetes Mittel geworden, um eine Kraft auf sehr grosse Entfernungen hin zu übertragen, bei denen andere Mittel den Dienst versagen. Nur darf man auch von diesem Mittel nicht zu viel verlangen: ein sehr beträchtlicher Theil der Kraft geht durch die Uebertragung doch verloren, und auch die Kosten sind so bedeutend, dass man eine solche Maschinenanlage nur da mit Erfolg einrichten kann, wo man eine sehr grosse Kraft unentgeltlich zur Verfügung hat.

Dass aber ein bedeutender Theil der Kraft verloren geht, ist in der Natur der Gase begründet: denn wenn dieselben zusammengedrückt werden, so erwärmen sie sich, ein Theil der Druckkraft verwandelt sich also in Wärme und geht ungenutzt verloren und wird auch dann nicht wieder ersetzt, wenn durch die Arbeit die Spannung nachlässt. In der Praxis schätzt man diesen Verlust auf etwa 40% der ursprünglichen Kraft: was will aber dieser Verlust sagen, wenn man dabei die Kraft eines Wasserstromes, dessen Leistung man vielleicht auf Millionen von Pferdekräften veranschlagen kann, wenigstens zum Theil ausnutzt, während sie ohne dem ganz ungenutzt bleiben würde?

Aus den oben entwickelten Principien über die Constitution der Gase lassen sich weiter manche Erscheinungen erklären, die beim Fallen der Sternschnuppen und Feuerkugeln beobachtet wurden. Bekanntlich werden diese glänzenden Streifen am Himmelsgewölbe dadurch hervorgerufen, dass Gesteinsmassen, die aus dem Weltenraume auf die Erde herabfallen, in Gluth gerathen und verbrennen. Für die Geschwindigkeiten mit welcher diese Massen unsere Atmosphäre durchfliegen, hat Schiaparelli als Grenzwerthe 16 und 72^{km} in der Secunde bestimmt, je nachdem sie sich mit der Erde in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegen: beide Werthe aber sind bedeutend grösser, als die Geschwindigkeit der Molecüle der Bestandtheile der Atmosphäre, welche 500^{m} noch nicht erreicht.

Es muss daher die Meteormasse bei ihrem Fortschreiten hinter sich einen röhrenförmigen luftleeren Raum lassen, vor sich aber die Luft zu ungeheurer Dichtigkeit zusammenpressen, und dabei eine sehr grosse Arbeit verrichten, welche ihre eigene lebendige Kraft vernichtet. Nach den Rechnungen des Grafen Saint-Robert bewegt sich ein kugelförmiger Meteorstein von 1^{dm} Halbmesser und 14^{kg} Gewicht, der mit einer Geschwindigkeit von 16^{km} in die Atmosphäre eintritt, in einer Luftschicht, in welcher der Luftdruck 12^{mm} beträgt, nur noch mit einer Geschwindigkeit von 1397^{m}, hat aber indessen 446850 Calorien entwickelt. Hat die Masse aber eine Anfangsgeschwindigkeit von 72^{km}, so besitzt es in derselben Luftschicht nur noch eine Geschwindigkeit von 1403^{m}, die Zahl der von ihm entwickelten Calorien aber beträgt 9114736: der Verlust betrug also im ersten Falle $^{10}/_{11}$ im andern $^{50}/_{51}$ der anfänglichen Geschwindigkeit. Die grösste Verzögerung der Bewegung erfolgt also in den äussersten Schichten unserer Atmosphäre: schon da, wo der Druck nur 1^{mm} beträgt, sind die Geschwindigkeiten auf 4871 und 5105^{m} herabgesunken, zugleich aber 408556 und 9072360 Calorien entwickelt worden [1]). Die Wärme, welche dabei frei wird, ist ausreichend, um den grössten Theil dieser Körper zu verflüchtigen; dieselben können daher den Erdboden nur erreichen, wenn ihre ursprüngliche Masse eine sehr bedeutende war. So umgiebt uns also die Luft wie ein Panzer und schützt uns vor den Verheerungen dieser furchtbaren Artillerie des Himmels: auf dem Monde dagegen ist vielleicht ein grosser Theil der Krater durch diese Steinmassen, die aus den Tiefen des Weltenraumes hervortauchen, aufgerissen worden. Dass durch jene Verdichtung inmitten der Atmosphäre eine so grosse Wärmemenge entwickelt wird, erscheint keineswegs unglaublich, wenn man bedenkt, dass die Expansionskraft der Gase nicht unendlich gross ist, sondern dass die Geschwindigkeit, mit der eine Druckkraft durch sie fortgepflanzt wird, durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles gemessen wird. Da nun letztere in der Luft 334^{m} beträgt, und also die Wurfgeschwindigkeit jener Geschosse sehr viel grösser ist, so hat die Luft auf der Seite, nach welcher sie sich bewegen, nicht Zeit zum Ausweichen, noch auch um von der Seite in den durchflogenen Raum einzudringen: sie wird daher auf der Vorderseite verdichtet wie in einer Röhre mit festen Wänden,

[1]) Saint-Robert, Thermodynamique, 2. Auflage, p. 330. S.

während auf der Hinterseite ein röhrenförmiger, vollständig leerer Raum entsteht, den sie nicht mit derselben Geschwindigkeit auszufüllen vermag, mit welcher sich das Meteor bewegt.

Noch eine andere wichtige Erscheinung, nämlich die Vertheilung der Wärme in der Atmosphäre, lässt sich nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmelehre leicht erklären. Man hat von jeher beobachtet, dass die Temperatur der Luft mit der Höhe abnimmt trotz der ungeheuern Umwälzungen, welche in ihr beständig vor sich gehen, und welche auf den ersten Blick zu der Erwartung berechtigen könnten, dass sich die Temperatur mit der Zeit ausgleichen müsste. Nun ist aber wohl zu beachten, dass jedesmal, wenn eine Luftmasse in höhere Regionen aufsteigt, dieselbe sich ausdehnen muss, dass sie dabei sowohl eine innere als auch eine äussere Arbeit verrichtet, indem sie die über ihr liegenden Schichten hebt, und dass sie sich infolge dessen abkühlt; umgekehrt wird eine herabsteigende Luftmasse durch den Druck der höheren Schichten verdichtet und dadurch erwärmt. Aus diesem Grunde nimmt die Temperatur der Luft trotz der heftigen Bewegungen, die in ihr vorgehen, nach oben regelmässig ab und schwankt nur zwischen ziemlich engen Grenzen. Wäre dies nicht der Fall, so würde das Herabsinken einer Luftmasse aus der Höhe von nur 5^{km} eine Temperaturerniedrigung von 30° bewirken; hierdurch aber müssten auf der Erdoberfläche die grössten Verheerungen angerichtet werden, da schon der kleine Bruchtheil dieser Temperaturveränderung, welcher in häufig eintretenden Fällen nicht volle Compensation gefunden hat, genügt, um die heftigsten Gewitter mit Sturm und Hagel zu erregen.

Werden durch den Wind Luftmassen auf der nördlichen Halbkugel in der Richtung von Süd nach Nord bewegt, so müssen sie schon deshalb sich herabsenken, weil sie aus niedrigeren Breiten kommen, wo die Schwerkraft geringer ist: umgekehrt müssen die aus Norden kommenden aufsteigen. Daher die grossen Schwankungen des Barometerstandes im Norden, die geringen am Aequator; daher auch die Erscheinung, dass, ganz abgesehen von der Temperatur der Länder, aus denen sie wehen, Südwinde im Allgemeinen einen höheren Wärmegrad bewirken, als Nordwinde.

Alle diese Erscheinungen wurden früher auf die Veränderlichkeit der Wärmecapacität der Gase oder auf die Wirkungen der latenten Wärme zurückgeführt. Diese Erklärungen haben sich aber als widersinnig erwiesen: jene Vorgänge sind nur die nothwendigen

Folgen der Principien der mechanischen Wärmelehre, so dass, wie Hirn sagt, die Meteorologie endlich, Dank diesen neuen Anschauungen einen rationellen und wahrhaft physikalischen Weg eingeschlagen hat.

KAPITEL VIII.

Ueber den flüssigen und festen Zustand. — Abstossende Kräfte in flüssigen und festen Körpern.

Man nimmt in der Wissenschaft allgemein an, dass bei genügender Verminderung der Wärme jeder luftförmige Körper in den flüssigen und darauf in den festen Zustand übergeht; und auch die wenig zahlreichen Ausnahmen, nämlich die permanenten Gase, beweisen nichts, als dass der Punkt, bei welchem sie flüssig werden, tiefer liegt, als die niedrigste Temperatur, welche man bis jetzt durch künstliche Mittel erreicht hat[1]. Jede Erniedrigung der Temperatur führt nun eine entsprechende Verminderung der inneren Arbeit herbei, deren Abnahme eine Annäherung der Molecüle bewirken muss: denn wenn der Stoss geringer ist, so muss auch die Weite der molecularen Schwingung abnehmen, und es wird sich nunmehr der Druck geltend machen, welcher durch die anziehenden Kräfte oder durch den Stoss der benachbarten Theilchen ausgeübt wird, letztere mögen wägbar oder unwägbar sein. Es ist nun klar, dass, wenn diese Abnahme immer grösser wird, die moleculare Geschwindigkeit sich so weit erniedrigt, dass das Molecül aus der Thätigkeitssphäre seiner Nachbarn nicht mehr heraustreten kann und gezwungen ist längs einer geschlossenen mehr oder weniger regelmässigen Curve zu schwingen. In diesem Augenblicke wird die Expansionsbewegung aufhören, der Körper wird flüssig und die Schwerkraft, welche nun keinen Widerstand mehr durch die fortschreitenden Bewegungen der Molecüle findet, wird ihren vorwiegenden Einfluss geltend machen, da die eigene Geschwindigkeit der Theilchen nicht mehr diejenige übertrifft, welche die Schwerkraft ihnen ertheilt; zugleich nimmt die Oberfläche fast allein unter dem Einflusse der Schwerkraft eine be-

[1]) Bekanntlich hat sich die längst gehegte Erwartung im December 1877 erfüllt, indem durch Cailletet in Paris und Pictet in Genf die Condensation der sogenannten permanenten Gase experimentell ausgeführt wurde.
Sch.

stimmte Gestalt an [1]). Aber an der freien Oberfläche sind die Molecüle nicht nach allen Richtungen hin derselben Anziehungskraft unterworfen: daher können sie sich trennen, ihrer Wurfbewegung folgen und in luftförmigen Zustand übergehen: hieraus erklärt sich das Verdunsten der Flüssigkeiten und einiger fester Körper.

Bei den Flüssigkeiten sind die Rotationsaxen der Molecüle wahrscheinlich nach allen Seiten hin gerichtet, ja sie können sogar eine veränderliche Lage haben. Weiter ist der Abstand der Molecüle von einander so gross, dass das eine die Thätigkeitssphäre des anderen nur eben berührt, insoweit es nöthig ist, um der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten. Da in dieser Weise alle Kräfte im Gleichgewichte sind, so werden die Molecüle dem geringsten Stosse Folge leisten und dadurch die Beweglichkeit besitzen, die den Flüssigkeiten eigenthümlich ist [2]).

Entzieht man einem flüssigen Körper noch mehr Wärme, d. h. vermindert man die Geschwindigkeit der Molecüle noch weiter, so werden dieselben sich noch bedeutender nähern und gegenseitig in ihre Wirkungssphären gelangen. Da nun die Richtungen, in denen die anziehenden Kräfte wirken, von der Form der Molecüle abhängig sind, so werden diese suchen sich regelmässig gegen einander zu lagern und einen festen Körper bilden, indem sie vollständig ihre Freiheit verlieren. Da man in der dynamischen Theorie die Existenz ursprünglicher anziehender Kräfte nicht gelten liess, so erklärte man die verschiedenen Zustände der Körper in gleicher Weise durch die Verminderung der Zwischenräume zwischen den Molecülen: diese Erklärung ist aber doch nicht haltbar [3]).

[1]) Sogar die Erdatmosphäre wurde von Poisson an ihrer oberen Gränze, wo die Schwerkraft der Expansivkraft das Gleichgewicht hält, als eine Flüssigkeit angesehen. S.

[2]) Zu einer eigenthümlichen Anschauung von der Constitution tropfbar flüssiger Körper ist Cantoni durch Versuche geführt worden, die er selbst und auch Amagat über die Zusammendrückbarkeit derselben anstellte. Nach ihm sind die intermolecularen Räume im Innern der Flüssigkeiten mit Dämpfen desselben Stoffes erfüllt, die sich im Maximum ihrer Spannung bei der betreffenden Temperatur befinden. S. Il nuovo Cimento, Ser. 3, T. VI, p. 277. Sch.

[3]) In neuerer Zeit haben Nies und Winkelmann gezeigt, dass mehrere von ihnen untersuchte Metalle sich beim Erstarren ebenso ausdehnen, wie das Eis, so dass auch für sie zu schliessen ist, dass der Vorgang des Festwerdens nicht auf eine Verminderung der Räume zwischen den Molecülen

Wir haben oben erwähnt, dass, wenn mehrere Atome auf einander treffen, der Fall eintreten kann, dass dieselben eine gemeinsame Bewegung annehmen; in diesem Falle werden sie so aneinander haften, wie man es in den Fällen beobachtet, die man gewöhnlich der Wirkung der Cohäsion zuschreibt. Ausströmende Wassersäulen geben ein bemerkenswerthes Beispiel für diesen Zusammenhalt der Theilchen: wenn sie aus einer Oeffnung heraustreten, so gewähren sie den Anblick eines festen Körpers, weil alle Theilchen sich mit gleicher Geschwindigkeit bewegen; ist diese Geschwindigkeit bedeutend, wie z. B. in dem Falle, dass ein Wasserstrahl aus einem Gefässe durch sehr hohen Druck herausgepresst wird, so kann man sich nicht nur durch den Anblick, sondern sogar durch das Gefühl überzeugen, dass diese Strahlen einen Widerstand leisten, als wenn sie aus einem zusammenhängenden Ganzen beständen. Allein diese Anschauungsweise genügt noch nicht, um die Erscheinung der Cohäsion zu erklären, wir müssen dazu die Mechanik der inneren Constitution der Körper erst noch weiter entwickeln. Für jetzt beschränken wir uns darauf, zu sagen, dass durch die bisher erwähnten Thatsachen weder die Vorstellung von einer Einwirkung, welche auf die Molecüle durch sogenannte anziehende Kräfte ausgeübt wird, noch von einem Drucke, der von aussen her auf sie wirkt und von dem Aether ausgeht, welcher sich zwischen den Atomen befindet, ausgeschlossen ist; ja es ist nicht unmöglich, dass ein solcher Druck der wahre Grund für die Cohäsion zusammengesetzter Körper ist. Diese Ansicht ist nicht so neu, noch sonderbar, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte: schon Galilei glaubte durch die Annahme, dass ein leerer Raum unmöglich sei, eine Erklärung zu geben[1]), was freilich nicht ganz richtig war, da er darunter einen luftleeren Raum verstand. Da aber die neueren Untersuchungen die Existenz eines Mittels wahrscheinlich gemacht haben, welches viel feiner und viel weiter verbreitet ist, als die Luft, so können wir uns wenigstens die Frage vorlegen, ob nicht dieses Mittel eine solche Wirkung hervorbringen kann. Da wir diesen Gegenstand weiter unten ausführlicher besprechen müssen, so wollen wir ihn hier nur angedeutet haben.

Dreht sich ein Massentheilchen sehr schnell um seine Axe, so

zurückgeführt werden darf. S. Sitzungsber. d. math.-phys. Cl. d. Münchener Academie 1881, p. 63. Sch.

[1] Dialogo I, p. 14. — Grove, Correlation, p. 175. S.

wird es den umgebenden Aether, indem es auf seine Theile stösst, mit in die Bewegung fortreissen und mit ihm zusammen einen sogenannten Wirbel bilden, dessen Radius sehr klein ist und dem Radius der Wirkungssphäre gleichgesetzt werden kann. Durch die Centrifugalkraft werden sich die Theilchen mehr von einander entfernen und daher wird im Innern des Wirbels der Druck geringer; die benachbarten Aethertheilchen suchen das Gleichgewicht wieder herzustellen und drängen nach dem Innern des Wirbels. Nun kann ein solcher kleiner Wirbel die Grenzen des andern nur dann überschreiten, wenn der Abstand der Molecüle kleiner ist, als die Summen der Radien der beiden Wirkungssphären: wird diese Grenze erreicht, so werden die Wirbel ineinander eingreifen und sich zu einem einzigen vereinigen, oder auch es wird der kleinere von dem grösseren absorbirt, sodass nur die umgebenden Aethertheilchen auf diesen gemeinsamen Wirbel einen Druck ausüben und dadurch die Erscheinung bewirken, die man als Cohäsion bezeichnet.

Wenn wir bei der weiteren Entwickelung unserer Hypothese nun annehmen, dass bei grösserer Annäherung ein Molecül in den Aetherwirbel eintritt, der ein anderes umgiebt, so werden die Rotationen sich in derselben Weise zusammensetzen, wie man in der Mechanik Drehpaare mit einander vereinigt, sodass die Rotation schliesslich um eine Axe erfolgt, deren Lage durch die Trägheitsmomente der Molecüle bestimmt wird. So bildet sich um mehrere Atome eine gemeinsame Hülle oder Thätigkeitssphäre, welche das nothwendige Band ist für die Constitution der festen Körper, und welche für die Krystallisationsform bestimmend wirkt. Da es nun aus geometrischen Gründen unmöglich ist, einen gegebenen Raum mit gleichen Kugeln vollständig auszufüllen, so müssen immer in den verschiedensten Richtungen Lücken bleiben, woraus sich die unendliche Mannigfaltigkeit der Krystallformen erklärt. Die Axen, um welche die Molecüle rotiren, können entweder fest sein, oder sie können sich auch selbst wieder in drehender Bewegung von der Art, die man Präcession nennt, befinden, woraus eine grosse Verschiedenheit ihrer physikalischen Eigenschaften, wie der Dichtigkeit, Festigkeit, Elasticität u. s. w. folgen muss.

Dies ist in allgemeinen Umrissen das Princip, aus dem sich, im Verein mit der Trägheit, die Cohäsion der Körper erklären lässt: dasselbe setzt zwar ein Mittel voraus, dessen Existenz bis hierher noch nicht bewiesen ist; wir werden diesen Beweis aber

bald führen können. Wir haben diese Grundsätze deshalb schon jetzt ausführlicher entwickelt, damit kein Zweifel darüber bleibt, in welcher Weise wir uns diese Kräfte wirkend denken: doch wollen wir sie vorläufig nur als Hypothesen behandeln, bis wir den strengen Beweis für unsere Ansicht geführt haben.

Die allgemeine Theorie der molecularen Bewegung der Körper, insbesondere der Gase, wurde zuerst von Cauchy [1]) gegen Ende des Jahres 1839 angedeutet. Indem derselbe die Menge der Wärme, die beim Verdampfen gebunden wird, in Betracht zog, kam er zu der Ansicht, dass in den Gasen eine Wurfbewegung stattfinde, bei welcher die Molecüle um einander Bahnen beschreiben, während sich die Bewegung in flüssigen und festen Körpern auf einfache Oscillationen beschränke. Später behaupteten Kröning und Clausius noch entschiedener, dass für die Gasmolecüle eine Wurfkraft bestehe, während sich die Molecüle der flüssigen und festen Körper in Kreisen oder anderen geschlossenen Bahnen bewegen. Die Hypothese von den kleinen molecularen Wirbeln ist bisher mit Eifer von den Physikern ausgearbeitet worden, welche für die Existenz des Aethers Partei nahmen: und Rankine, Maxwell, Rodtenbacher, Challis und andere [2]) haben sie angenommen, ohne zu befürchten, dass sie auf diesem Wege zu Descartes' Weltwirbeln zurückgelangen könnten; sie haben für diese Ideen Partei ergriffen, trotzdem dass ihnen noch viele Vorstellungen fehlten, die zur Errichtung eines vollständigen Systems nothwendig sind. Es ist wichtig, hier noch einmal daran zu erinnern, dass wir bei diesen Wirbeln nicht nur an die drehende Bewegung denken dürfen, sondern dass wir zugleich ihren Zusammenstoss mit dem umgebenden Mittel und die Veränderungen der Dichtigkeit in Betracht ziehen müssen: doch auf diese theoretischen Betrachtungen kommen wir später ausführlicher zurück. Für jetzt

[1]) S. Comptes rendus, V. IX. S.

[2]) Eigenthümlich ist die Vorstellung, die Thomson von der Natur der Atome giebt: nach ihm sollen dieselben ringförmige Körper sein, in denen ebensolche Bewegungen vor sich gehen, wie wir sie in den Ringen wahrnehmen, die aus zerplatzenden Blasen von Phosphorwasserstoff aufsteigen, oder in denen, die manche Tabakraucher in die Luft zu blasen verstehen. Zu diesen Anschauungen wurde Thomson durch Versuche hingeführt, die Helmholtz über ähnliche Wirbelbewegungen in Flüssigkeiten anstellte, in denen sich diese Bildungen mit grosser Zähigkeit eine Zeit lang erhalten. Sch.

mögen obige allgemeinen Andeutungen genügen, und wir wiederholen, dass, wenn Jemandem die Hypothese von den kleinen Wirbeln zu gewagt erscheint, er vorläufig die alte Vorstellung von der molecularen Anziehung beibehalten kann: später werden wir den wahren Werth derselben schon kennen lernen. Für jetzt ist die Annahme dieser Hypothese noch nicht unbedingt nöthig: es genügt, dass man die von allen Physikern angenommene Thatsache anerkenne, dass die Atome ein sehr grosses Streben zeigen, sich mit einander zu vereinigen.

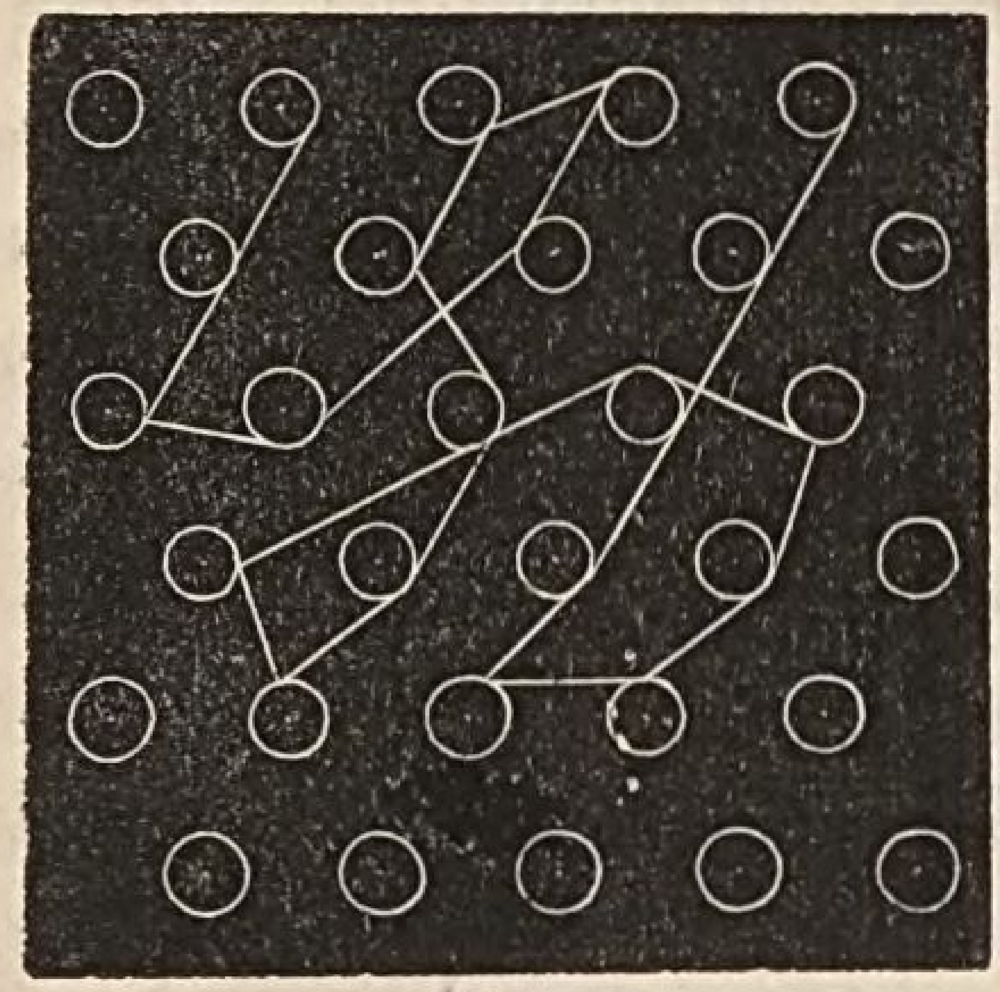


Fig. 7.

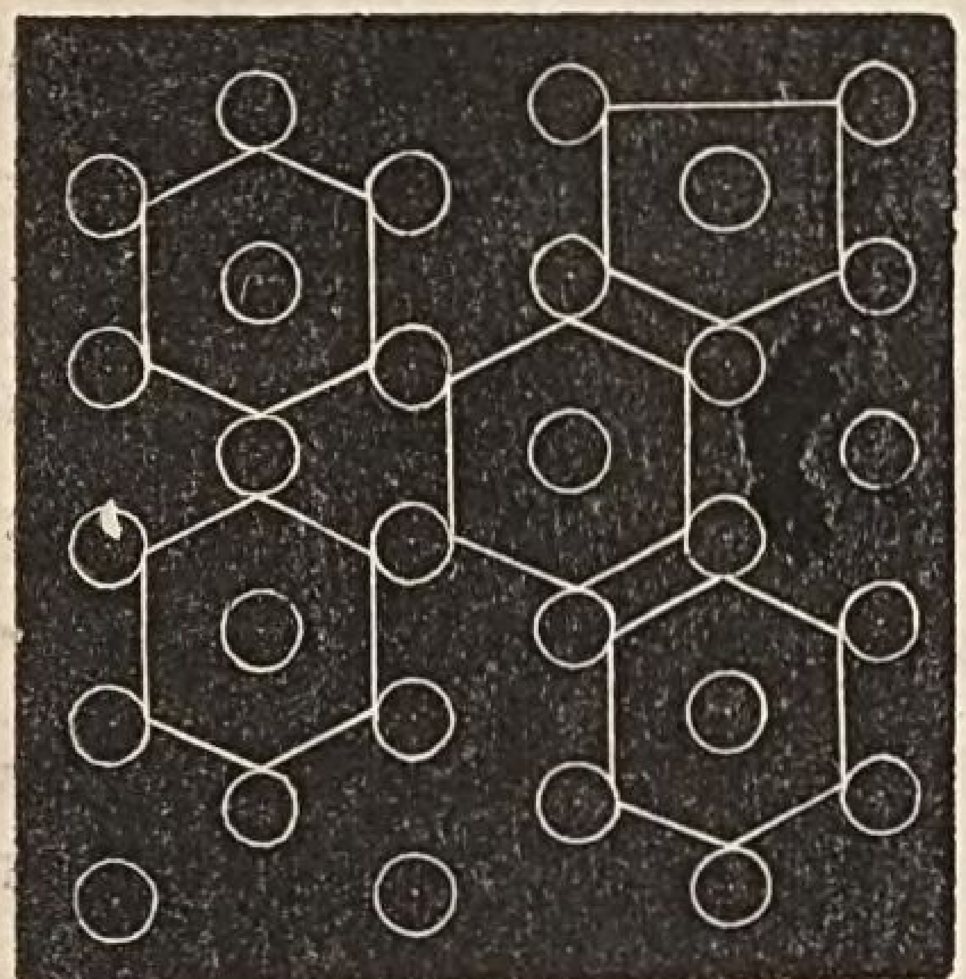


Fig. 8.

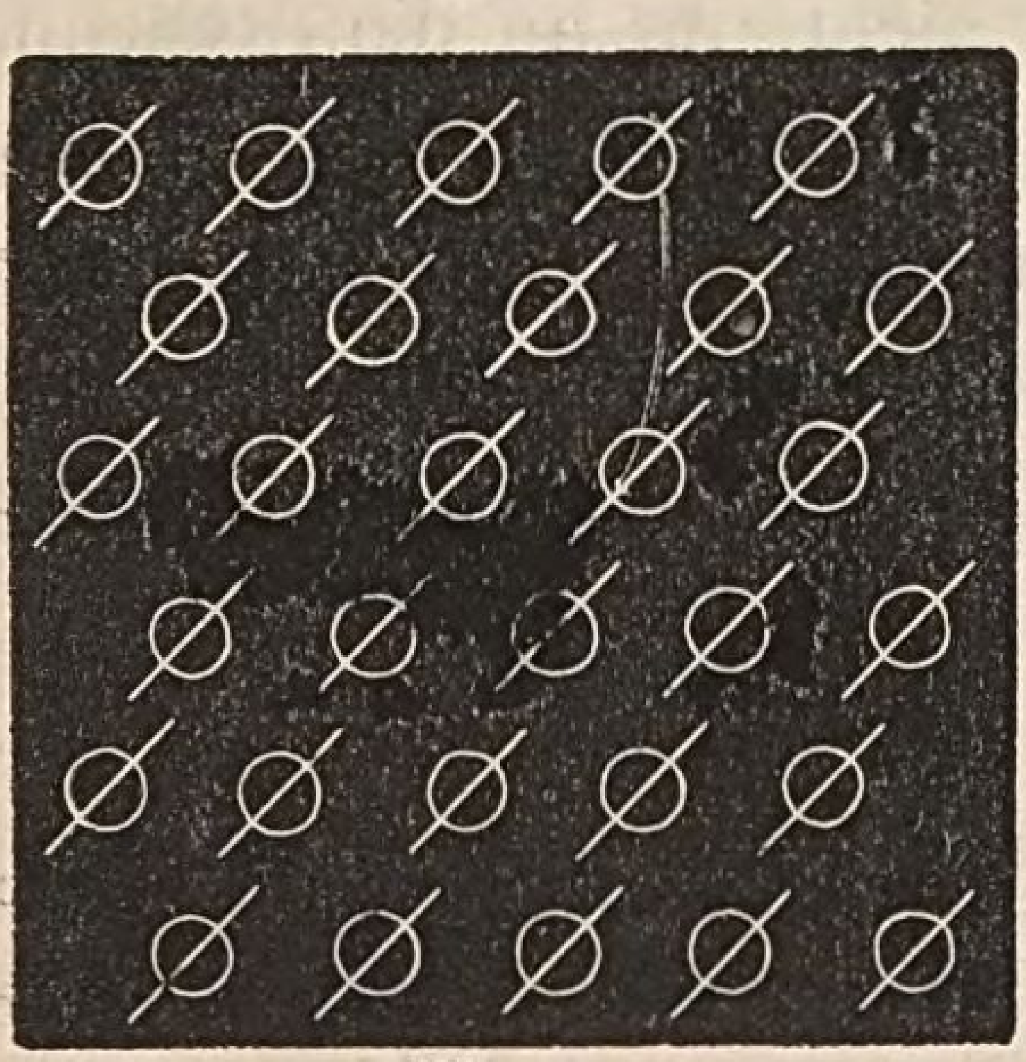


Fig. 9.

Um von den molecularen Bewegungen eine Vorstellung zu geben, haben wir für die Aggregatzustände Abbildungen beigefügt, welche die Bahn anschaulich machen, die ein Molecül zwischen den anderen fest gedachten einschlagen muss.

In Figur 7 stellt die gebrochene Linie, welche im Innern des Körpers einen unbestimmten, verschlungenen Weg nimmt, die Bahn eines Gasmolecüles dar, welches frei von einer Gruppe zur andern wandert, bald auf dieses, bald auf jenes trifft, bald nach der einen, bald nach der andern Seite zurückgeworfen wird und seine Richtung in jedem Augenblicke ändert. Es gleicht den Cometen mit hyperbolischer Bahn, die nach der Ansicht der Astronomen gleich Boten eine Sternenwelt mit der andern verbinden.

Die Bahnen in Fig. 8 stellen die Schwingungen der Molecüle in einer Flüssigkeit dar. Noch besteht für die Molecüle keine bestimmte Richtung der Drehungsaxe, aber die Bahn eines jeden beschränkt sich auf die Figur, die durch die benachbarten Molecüle gebildet wird, und es kann bei diesem Systeme keine fortschreitende Bewegung über die Grenzen der Masse hinaus entstehen. In der Zeichnung ist die Bahn sechseckig, weil man angenommen hat, dass die Atome in einer Ebene so vertheilt

sind, dass sie gleichseitige Dreiecke bilden; in Wirklichkeit kann sie aber sehr verschiedene Gestalten besitzen.

Fig. 9 bezieht sich auf den festen Zustand: man muss sich die Molecüle noch näher bei einander denken als im vorstehenden Falle, und muss annehmen, dass die Rotationsaxen alle parallel zu einander sind; endlich kann in derselben Thätigkeitssphäre eine grössere Zahl von Molecülen vereinigt sein. Ihre Bewegungen sind von noch geringerer Ausdehnung als in den Flüssigkeiten, sie beschränken sich auf einfache Oscillationen, ohne dass die Theilchen irgend welche noch so kleine Bahnen durchlaufen, da ihre Fortbewegung im Innern der Masse möglich geworden ist.

Ehe wir weiter gehen, scheint es nöthig, einen Zweifel zu lösen, der sich uns unwillkürlich aufdrängt: wenn die Wärme durch Stösse der Molecüle erzeugt wird, wie kommt es, dass diese Bewegung nicht mit der Zeit verlöscht? Hierauf antworten die Physiker: Ebenso wie keine Bewegung ohne Ursache entstehen kann, ebenso kann auch keine Bewegung ohne Ursache verschwinden. Mit einem Worte, sie halten die Bewegung für ebenso unzerstörbar wie die Materie; und wenn man nach und nach immer mehr zu der Ueberzeugung gekommen ist, dass niemals irgend welcher Stoff verloren geht, da in keinem Falle das Gegentheil zu beweisen war, so wird man nach ihrer Meinung immer mehr dahin kommen, die Unzerstörbarkeit der Bewegung als Grundsatz aufzustellen. Die Stärke der Kraft, welche im Anfange die Bewegung hervorgebracht hat, also die Urkraft muss unverändert dem System verbleiben. Die Bewegung, welche durch diese anfängliche Kraft hervorgerufen wurde, wird sich verwandeln: aus fortschreitender Bewegung entsteht Schwingung und Rotation, die Bewegung geht von einem Körper auf den andern über, spaltet sich und theilt sich einer immer grösseren Zahl von Körpern mit; und wenn wir uns auch nicht in anschaulicher Weise vorstellen können, wie sich die Dinge an den Grenzen des Raumes gestalten, so kann doch sicherlich die Bewegung nicht verlöschen. Mit einem Worte, die Entstehung der Bewegung lässt sich ebenso wie die Entstehung des Stoffes nur durch einen Schöpfungsact erklären [1]).

Wenn wir nun auch nicht die ganze Verantwortlichkeit für diese Erklärung auf uns nehmen wollen, so müssen wir doch sagen,

[1]) Grove, Corrélat. des forces physiques, p. 259. S.

auch ohne uns auf die metaphysische Frage über die Möglichkeit oder die Unmöglichkeit der Zerstörung der Bewegung weiter einzulassen, dass man immer die Erhaltung der Bewegung experimentell nachweisen kann. Man kann immer in den hervorgebrachten Wirkungen die ganze Bewegung wiederfinden und bis zu ihrem Ursprung zurückgehen, selbst dann, wenn sie plötzlich zu verschwinden oder neu zu entstehen scheint . . . „Eine in Brand gebrachte Kohlenmasse erzeugt direct Wärme, indirect mechanische Kraft. Woher aber rührt diese Kraft? . . . Bei der Entwickelung der Pflanzenwelt ist die Kohlensäure der Stoff, welcher der Pflanze den Kohlenstoff liefert, und der Sonnenstrahl ist das Agens, welches die Atome trennt, indem es den Sauerstoff in Freiheit setzt und den Kohlenstoff veranlasst sich in Holzfaser zu verwandeln. Fallen die Sonnenstrahlen auf eine Sandfläche, so erhitzt sich dieselbe und strahlt schliesslich die Wärme wieder aus, welche sie empfangen hat; fallen dagegen die Sonnenstrahlen auf eine Waldfläche, so wird die Wärmemenge, welche dieselbe zurückstrahlt, kleiner sein als die, welche sie aufgesaugt hat, denn die Kraft eines Theiles der Sonnenstrahlen ist darauf verwendet worden die Bäume wachsen zu lassen. Ohne Vermittlung der Sonne würde die Zersetzung der Kohlensäure nicht erfolgen: indem sie nun diese Wirkung hervorbrachte, hat sie eine Lichtmenge verbraucht, welche der geleisteten molecularen Arbeit äquivalent ist. Auf diese Weise bilden sich die Bäume, und ebenso vereinigt sich, wenn die Pflanzenfaser entzündet wird, der Sauerstoff wieder mit dem Kohlenstoff, und bei dieser Verbrennung der Pflanzenfaser entwickelt sich eine Wärmemenge gleich derjenigen, welche von der Sonne aufgebraucht worden war, um den Kohlenstoff im Innern der Pflanze abzuscheiden [1].“ Auf diese Weise machte der berühmte Tyndall die Mayer'schen Ideen über die Erhaltung der Kraft im Sonnensysteme anschaulich, und dieselbe Erklärung lässt sich auf alle Erscheinungen der Natur anwenden, welche unter sich in engster Weise solidarisch verknüpft sind.

Wenn wir sonach zu der Ansicht gekommen sind, dass wir bei allen Erscheinungen, die wir beobachten, immer als Quelle einer Bewegung eine andere vorausgehende Bewegung finden, so lässt sich doch noch eine andere Einwendung machen. Wenn die Bewegungen auch nicht verschwinden, so streben sie doch immer danach, sich

[1]) Tyndall, s. Cosmos von Moigno, V. XXI, p. 275. S.

gegenseitig auszugleichen. Bilden mehrere Körper ein räumlich beschränktes System, so kann durch ihre gegenseitige Einwirkung die einmal stattfindende Bewegung wohl in ihrer ganzen Stärke erhalten bleiben: berücksichtigt man aber die lange Reihe der Zeitalter, so werden die Thätigkeiten, welche in den einzelnen Systemen, wie in dem der Sonne, in einer bestimmten Ausdehnung die Natur beherrschen, den Ausgleich immer mehr anstreben. Der Ausgleich der Kraft wird schliesslich bewirken, dass sich alle Theile der Schöpfung mit gleicher Energie bewegen und damit wird der gegenwärtige Wechsel verschwinden, dem alles Leben seine Entstehung verdankt; denn die Bedingung für alles Leben besteht gerade in der Verschiedenheit der Kräfte, welche auf den Stoff wirken. Somit wird die Quelle aller Lebenskraft in unserm Systeme, die Sonne, wenn sie immer ihre Kraft durch Strahlung verliert, nothwendig einmal unfähig werden ihre gegenwärtigen Functionen zu verrichten: und wenn auch dieses Erlöschen noch weit entfernt ist, da man berechnet hat, dass die Temperatur der Sonne mehrere Millionen Grade beträgt und dass die Verminderung ihres Durchmessers um nur eine Secunde ihre Temperatur auf mehr als zwölftausend Jahre hin in gleicher Höhe erhalten könnte, so muss doch schliesslich einmal jener Zustand eintreten. Wir können also den Schluss ziehen, dass das Princip von der Erhaltung der Bewegung nicht hindert, dass einmal der gegenwärtige Zustand der Dinge aufhört.

Betrachtet man diesen Einwurf genau, so sieht man, dass er gar nicht gegen unsere Ansicht gerichtet ist, denn wir haben in keiner Weise behauptet, dass der gegenwärtige Zustand der Dinge ewig erhalten bleiben müsse: im Gegentheil sind wir der Ueberzeugung, dass, wie es nicht immer so gewesen ist wie heute, es auch nicht in alle Ewigkeit so bleiben wird. Wenn wir ein Princip für die Erhaltung der Bewegung oder der Kraft aufstellen, so darf man dies nicht als ein Princip der Erhaltung des gegenwärtigen Zustandes ansehen: das eine folgt durchaus nicht aus dem anderen und nur der Urheber aller Dinge weiss, welche Hebel anzusetzen sind, um den gegenwärtigen Zustand zu erhalten, wenn derselbe erhalten bleiben soll. Wir wollen uns daher hüten, verschiedenartige Fragen miteinander zu vermischen: es handelt sich hier durchaus nicht um die Erhaltung der Welt, wie sie jetzt besteht, sondern nur im Allgemeinen um die Erhaltung der Kraft, welche auch dann noch erhalten bleibt, wenn sie sich ausgleicht. Was man sich klar

machen muss, ist, dass in der Körperwelt alle Vorgänge durch Bewegung des Stoffes erfolgen, und dass es durchaus keine solchen abstracten Kräfte giebt, wie man nach der Anwendung mancher Ausdrücke vermuthen könnte, welche manchmal rein poetisch sind, immer aber dem Reiche der Phantasie angehören.

Es ist gut, hier an eine berühmte Lehre Galilei's zu erinnern: „Im ganzen Weltall, soweit es sinnlich wahrnehmbar ist, giebt es nur Stoff in Bewegung oder in Ruhe. Den Stoff kann man sich nicht ohne Gestalt, Grösse und Unterbrechung der Stetigkeit denken. Stellt man sich irgend einen körperlichen Stoff vor, so muss man zugleich daran denken, dass er auf einen bestimmten Raum beschränkt ist; dass er folglich diese oder jene Gestalt hat und sich in Bezug auf andere Körper in Bewegung oder in Ruhe befindet" u. s. w.

Weiter schloss Galilei, dass die Körper weder Geruch noch Geschmack noch Farben besitzen, sondern nur gewisse Bewegungen oder Anordnungen der Theile, welche in uns jene Empfindungen hervorrufen. Wir können von der Kraft ganz dasselbe behaupten und annehmen, dass in den Körpern ein gewisses Agens seinen Sitz hat, welches uns durch die Anstrengung bemerklich wird, die nöthig ist, um einen sich bewegenden Körper anzuhalten oder einen ruhenden in Bewegung zu setzen: und diese Ursache ist, wie wir bereits gesehen haben, keine andere als die von einer gewissen Geschwindigkeit belebte Masse.

Nicht allein die Gase besitzen die Eigenschaft, dass sie sich ausbreiten und den Raum erfüllen wollen, sondern diese Eigenschaft zeigt sich auch bei festen und flüssigen Körpern besonders an ihrer freien Oberfläche. Denn da der Anstoss der molecularen Bewegung sich dort nicht nach allen Richtungen hin aufhebt, so werden die Molecüle leicht aus der Wirkungssphäre ihrer Nachbarn, deren Einfluss sich nur nach einer Seite hin bemerklich macht, herausgeschleudert; noch kräftiger sind diese Wirkungen an der Oberfläche der Spitzen, bei denen die Molecüle nach mehreren Richtungen hin grössere Freiheit haben.

Die erste Thatsache, welche unsere Aufmerksamkeit verdient, ist die der Verdunstung der Flüssigkeiten, welche vor sich geht bei Temperaturen, die weit unter dem Siedepunkte liegen, d. h. dem Punkte, bei welchem die Spannung des Dampfes den Luftdruck übersteigt. Bekanntlich verwandeln sich alle Flüssigkeiten bei ge-

wöhnlicher Temperatur in Dampf: sogar für die beständigste unter ihnen, das Quecksilber, wird dies durch den bekannten Versuch gezeigt, dass man Goldblättchen in einer Flasche in einiger Entfernung vom Spiegel des Quecksilbers aufhängt, und auch durch elektrische Versuche lässt sich zeigen, dass der Raum über der Säule im Barometer nur in unvollkommenem Masse eine Leere darstellt, indem sich in ihm immer noch Quecksilberdämpfe befinden. Diese Verdampfung ist nicht ausschliesslich den Flüssigkeiten eigenthümlich, denn auch eine grosse Zahl fester Körper verdampft in sehr auffälliger Weise, wie das Eis, das Jod, der Phosphor und eine Menge organischer Substanzen: für viele andere feste Körper aber macht sich die Diffusion und Sublimation wenigstens nach einem längeren Zeitraume bemerklich. Wir wollen hier an die bekannten Moser'schen Hauchfiguren erinnern, welche man an der Oberfläche von Körpern, die nur durch sehr kleine Zwischenräume getrennt sind, beobachtet und deren Entstehung man durch eine langsame Verflüchtigung erklärt [1].

Das Zerstreuen der Molecüle wächst sehr bedeutend, wenn man die Temperatur erhöht, oder wenn man dem Körper eine gewisse elektrische Spannung ertheilt: so hat Zantedeschi den Moser'schen ähnliche Figuren mit Hülfe von Körpern, welche als entschieden feste Körper gelten, z. B. mit Hülfe von gewissen Metalloxyden, erhalten, indem er dieselben einer sehr hohen Temperatur im Porzellanofen aussetzte. Auch der Geruch, den manche Metalle selbst in der Kälte besitzen, ist ein Beweis dafür, dass sie sich verflüchtigen. Die Zahl derartiger Beobachtungen wächst ungemein, wenn man die elektrische Entladung zur Anwendung bringt, welche selbst, wie wir sehen werden, in ausserordentlich heftigen Schwingungen des Stoffes besteht: wir wollen nur daran erinnern, dass von den Rheophoren aus Platin in einer Geissler'schen Röhre sich allmählich kleine Theilchen ablösen, wenn dieselben lange Zeit der Einwirkung der Elektricität ausgesetzt sind, und dass sich diese Metalltheilchen auf den Wänden des Glases absetzen. Die Schwierigkeit einen vollständig leeren Raum herzustellen besteht hauptsächlich in der Flüchtigkeit der Fette, welche angewendet werden um die Fugen zu schliessen. In den Gassiot'schen Röhren wird der leere Raum dadurch hergestellt, dass man die Recipienten mehrmals

[1]) Bixio, Dynamique chimique, T. I. S.

nach einander mit Kohlensäure füllt, darauf den grössten Theil dieses Gases mit Hilfe einer Luftpumpe entfernt, und endlich die letzten Spuren desselben durch Aetzkali aufsaugen lässt, worauf man die Röhre zuschmilzt: allein schon eine geringe Erhebung der Temperatur genügt, die Röhre beim Durchgange der Elektricität leuchtend zu machen, d. h. um eine Diffusion der wägbaren Materie, wahrscheinlich des Kali, hervorzubringen, ohne welche sich die Elektricität nicht hindurch bewegen könnte. Der mechanische Druck der Atmosphäre und der Flüssigkeiten widersetzt sich zwar in hohem Grade der Diffusion, hindert sie aber nicht vollständig. Graham hat in neuerer Zeit die Diffusion der Salze, der Harze und des Zuckers in Flüssigkeiten studirt, und seine Versuche haben ergeben, dass, so langsam dieselbe auch vor sich geht, sie deshalb doch nicht weniger energisch erfolgt; und Bixio hat schon vor längerer Zeit darauf aufmerksam gemacht, dass diese Diffusion zu der Annahme führt, dass auch die Theilchen der festen und der flüssigen Körper in ähnlicher Weise, wie die der gasförmigen das Streben zeigen, gegenseitig in ihre Poren einzudringen.

Berührt die äussere Oberfläche einer Flüssigkeit einen festen Körper, so zeigen sich gewisse Erscheinungen, welche sich von den Vorgängen im Innern der Körper durchaus unterscheiden, wie z. B. die Wirkungen der Capillarität; um dieselbe zu erklären, muss man in den oberflächlichen Schichten der Flüssigkeit eine Verschiedenheit der Dichtigkeit voraussetzen, durch welche eine Aenderung der Form der freien Oberfläche bewirkt wird.

Die bei diesen Erscheinungen auftretende zurückstossende Kraft, welche bewirkt, dass sich die einzelnen Theilchen der Körper von einander zu entfernen suchen, zeigt sich besonders dann, wenn sich eine dünne Schicht einer Flüssigkeit auf der Oberfläche einer andern ausbreitet. Lässt man einen Tropfen eines fettigen, oder besser noch eines flüchtigen Oeles, etwa Terpentinöl, auf eine Wasserfläche fallen, so breitet er sich sofort wie ein leichter Schleier von ausserordentlicher Feinheit über dieselbe aus und zeigt in schönster Weise das Irisiren dünner Platten und die Newton'schen Ringe. Derselbe Versuch gelingt auch bei Anwendung von Schwefelkohlenstoff, trotzdem dass das specifische Gewicht desselben grösser ist, als das des Wassers. Diese Flüssigkeit zeigt das Streben zu diffundiren in so energischer Weise, dass sie selbst dann noch verdampft, wenn sie mit einer Wasserschicht von einer Dicke von mehreren Centimetern

bedeckt ist; sein Dampf durchdringt das Wasser ebenso, wie bei den schönen Versuchen von Sainte-Claire Deville der Wasserstoff seinen Weg durch eine weissglühende Stahlplatte, die mehrere Millimeter dick ist, findet.

Eine ähnliche Erscheinung zeigt das Kalium, welches zu verschwinden scheint, wenn es auf Quecksilber geworfen wird: haucht man aber gegen die Oberfläche, so wird der ausgeathmete Wasserdampf zersetzt und die Pottasche, die sich bildet erscheint als sehr dünner Schleier auf der Oberfläche des Quecksilbers. Alle Stoffe würden dieselbe Erscheinung zeigen, wenn man nur in dem Augenblicke, wo sie sich mit einander mischen, die ersten Schichten, die sich bilden, wahrnehmen könnte.

Eine andere Classe sehr merkwürdiger Erscheinungen ist bei Flüssigkeiten zu beobachten, die beim Mischen höchst eigenthümliche Bewegungen zeigen. Breitet man z. B. auf einer etwa 2^{mm} dicken Glasplatte eine feine Wasserschicht aus, und lässt man auf dieselbe einige Tropfen Alkohol herabfallen, so wird das Wasser sofort auf eine ziemliche Entfernung von dem Punkte, auf welchen der Alkohol trifft, zurückgestossen; bald darauf aber zeigt sich an der Grenzlinie beider Flüssigkeiten, also da, wo sie sich mischen, eine sehr lebhafte Bewegung, die so lange anhält, bis die Mischung beider Flüssigkeiten vollendet ist. Die Bewegungen der Baldriansäure, die in Wasser gegossen wird, wie die des Kalium und des Kampher, wenn dieselben auf Wasser schwimmend verbrennen u. s. w.[1]), sind allgemein bekannt.

Alle diese Thatsachen, sowie viele andere, deren Aufzählung zu weit führen würde, beweisen, dass viele Stoffe im Augenblicke ihrer Vereinigung in eine derartige Bewegung gerathen: man hat daher wohl das Recht anzunehmen, dass sich ihre Masse beständig in einer gewissen Bewegung befindet oder, anders ausgedrückt, Energie entwickelt. Im Falle, dass sich Stoffe chemisch verbinden, gehen ähnliche Bewegungen im Innern derselben vor sich, doch können wir dieselben nicht sehen, während die oben angeführten Bewegungen viel mehr in die Augen fallen, da sie wenigstens zum

[1]) S. Bixio, Dynamique chimique, V. I, p. 31, sqq. — Den Leidenfrost'schen Versuch erwähnen wir hier absichtlich nicht, da der Vorgang nicht die Folge der Wirkung einer Stosskraft ist, sondern sich aus der Anwesenheit einer starken Dampfschicht zwischen dem Wasser und dem weissglühenden Metalle erklärt. S.

Theil an der Oberfläche vor sich gehen und da die zurückgelegten Wege viel bedeutender sind: diese sichtbaren Bewegungen können uns daher als vergrösserte Bilder für die molecularen Vorgänge im Innern bei der Vereinigung der Stoffe dienen. Durch eine Reihe sorgfältig ausgeführter Experimente, die Bixio in seinen Werken anführt, ist er zu dem Schlusse gelangt, dass jeder chemischen Wirkung immer eine Verdünnung also auch eine Bewegung, eine Ausdehnung des Stoffes vorausgehen muss: bei allen Körpern ist eine gewisse Verdünnung unvermeidliche Vorbedingung für die chemischen Veränderungen, dieselbe wird also nicht, wie man bisher glaubte, durch die chemische Veränderung herbeigeführt, wie ja überhaupt die Wirkung nie der Ursache vorausgehen kann.

In allen diesen Fällen wird die Diffusion durch die chemische Thätigkeit nur erleichtert und auf indirectem Wege immer wieder erneuert, indem letztere immer wieder die Theilchen entfernt oder aufsaugt, welche durch ihre Anwesenheit die Diffusion oder Sublimation der Molecüle schliesslich aufhalten würden, indem sie um dieselben Atmosphären bilden, welche die Trennung der zurückbleibenden Atome hindern könnten.

Die Wirkungen der diffundirenden Kraft werden um so beträchtlicher, je weniger die Molecüle dem Einflusse der benachbarten unterworfen sind: deshalb werden bei festen Körpern von jener Kraft hauptsächlich diejenigen Theile betroffen, die sich an scharfen Kanten oder vorspringenden Ecken befinden; ebenso ist es bekannt, dass man die Diffusion und Verdampfung dadurch sehr beschleunigen kann, dass man die Körper fein zerreibt oder ihre Oberfläche sehr vergrössert, so dass diese Operation schon fast dem Anfange der Auflösung oder chemischen Wirkung gleichzusetzen sind. Ganz dieselben Bemerkungen lassen sich für die elektrische Diffusion machen, welche sich ihrem ganzen Wesen nach von der durch Wärme erzeugten durchaus nicht unterscheidet: denn wenn man beachtet, dass die Intensität aller dieser Erscheinungen im Verhältnisse der calorischen Bewegungen zunimmt und in dem Grade wächst, in welchem die äusserlichen mechanischen Hindernisse geringer werden, so kann man leicht die Ueberzeugung gewinnen, dass diese Erscheinungen nur die Folgen einer und derselben Ursache sind, die mehr oder weniger zur Wirkung kommt je nach der gegenseitigen Lagerung und der freien Beweglichkeit, in der sich die Molecüle befinden. –

Diese Repulsivkraft, die sich in allen den genannten Erscheinungen zeigt, mag wohl bei den Cometen zur vollen Wirkung kommen, da die Masse derselben so ausserordentlich gering ist, dass die Anziehung, welche sie auf ihre einzelnen Molecüle ausübt, einen nur unbedeutenden Werth besitzen kann. Bei den Experimenten, die wir anstellen, können wir zwar alle die Druckkräfte, die von Aussen auf einen Körper wirken, wie z. B. den Luftdruck, entfernen, aber nie wird es uns möglich sein, die Schwerkraft unwirksam zu machen oder auch nur ihren Einfluss zu vermindern; wenn uns dies gelänge, dann würden sicher jene abstossenden Kräfte ihre Wirkungen in weit höherem Grade äussern. Bei den Cometen dagegen kann weder von einem Luftdrucke, noch von Schwerkraft die Rede sein, daher wirkt die abstossende Kraft in voller Stärke. Darin sind jetzt die Astronomen einig, dass es nicht möglich ist, die mannigfachen Formen, in welchen jene Himmelskörper erscheinen, durch die allgemeine Massenanziehung zu erklären, sondern dass man nothwendig eine abstossende Kraft annehmen muss, die von der Wärme und vom Abstande von der Sonne abhängig ist. Einige Versuche Faye's, bei denen der Volta'sche Bogen im luftleeren Raume von heissen Körpern heftig abgestossen wurde, scheinen diese Ansicht zu bestätigen.

Durch die neueren spectroskopischen Untersuchungen ist der Beweis geführt worden, dass das Licht der Cometen wenigstens zum Theil eigenes Licht ist und von glühenden Gasmassen ausstrahlt, da man im Spectroskop Streifen fand, welche mit denen des Kohlenstoffs identisch waren oder ihnen wenigstens sehr nahe lagen. Dieses Licht setzt eine moleculare Energie von derselben Grösse, wie bei den Nebelflecken voraus, denen jene Körper auch durch die grosse Brechbarkeit der von ihnen ausgesendeten Strahlen und durch die Discontinuität ihres Spectrums gleichen. Zugleich scheint jene Kraft für die einzelnen Körper verschiedene und mit der Zeit veränderliche Werthe zu besitzen, so dass es nicht genügt, sie durch einen einfachen Ausdruck, dessen Zeichen der Anziehung der Sonne entgegengesetzt ist, darzustellen. Das Vorhandensein mehrerer Schweife bei einigen dieser Himmelskörper, die Schnelligkeit, mit der sich Schweife bilden, und vor allem die deutliche Bewegung, welche die leuchtenden Bündel zeigen, indem sie erst nach der Sonne hin gerichtet sind, sich dann aber rückwärts krümmen, als ob sie von der Sonne abgestossen würden, sind klare Beweise für ein besonderes

Bewegungsprincip, für welches wir eine Analogie nur in den Abstossungen, die durch Wärme oder Elektricität bewirkt werden, finden können [1]).

Würde denn nicht, kann man mit Recht fragen, die Sonnenwärme ausreichen, um in jenen Körpern die Ausdehnung und Diffusion der Materie zu erzeugen, zu der wir gelangen können, wenn wir erst den Druck der atmosphärischen Luft durch die Luftpumpe möglichst aufgehoben, und dann Schwerkraft und Cohäsion dadurch überwunden haben, dass wir dem Stoffe mit Hilfe der Elektricität möglichste Ausdehnbarkeit ertheilten? Diese Ansicht scheint doch durchaus nicht so unvernünftig zu sein und jeder, der die Erscheinungen des elektrischen Lichtes im luftleeren Raume gesehen hat, wird lebhaft die Analogie dieser Lichtbündel mit den Ausstrahlungen der Cometen wahrgenommen haben. Damit ist aber, wie Schiaparelli gezeigt hat, durchaus nicht ausgeschlossen, dass die Anziehung der Sonne zur weiteren Zerstreuung der in solcher Weise bereits gelockerten Materie beitragen könne; ja es lassen sich sogar aus dieser rein anziehenden Kraft eine Menge Eigenthümlichkeiten jener Körper erklären [2]).

Man könnte diesen Gedankengang noch weiter ausdehnen und auf jene abstossende Kraft die schöne Theorie von der Verfeinerung der Materie anwenden, welche schon Newton bezüglich des Lichts [3]) entwarf, und die in der letzten Zeit durch gelehrte italienische Physiker wieder ans Licht gezogen worden ist. Sehen wir die Wärme als eine Bewegung der Materie an, so finden wir zuerst, dass sich durch diese moleculare Bewegung die festen und eng verbundenen Gruppen von Atomen von einander lösen und die Beweglichkeit der flüssigen Körper erlangen; aus diesem Zustande gehen sie beständig in den luftförmigen über, und dies geschieht selbst bei den niedrigsten Temperaturen: ja selbst von festen Körpern lösen sich luftförmige Theilchen ab; und wenn auch in diesem Falle ihre Kraft nicht so gross ist, dass sie den auf sie ausgeübten Druck vollständig überwinden könnte, so suchen sich doch die Molecüle

[1]) Man vergleiche die Darstellung des Cometen II, 1862 im Bulletino meteorol. del Coll., Rom 1862, Jahrg. I., Nr. 19, wo sich das Zurückbiegen der Strahlenbündel und die Aenderung von einem Abend zum andern, ja die Veränderlichkeit binnen weniger Stunden sehr auffällig zeigt. S.

[2]) S. Bulletino meteorol., Jahrg. 1867, p. 11. S.

[3]) Newton, Optics, quaest. 22. p. 319. S.

einen Weg durch die Zwischenräume des auf der Oberfläche lastenden Mittels zu bahnen. Steigert man nun die moleculare Thätigkeit, indem man entweder die Temperatur erhöht oder elektrische Kräfte anwedet, so gelingt es den Zusammenhang der elementaren Körpertheile zu zerstören, auch ohne einen dritten Körper, der die Trennung herbeiführt, dabei anzuwenden. Der letzte Schritt, den man thun könnte, würde der sein, dass man durch noch grössere Steigerung der Schwingung der Atome versuchte auch noch die Gruppen zu lösen, welche die Molecüle der für einfach gehaltenen elementaren Körper bilden. Was würde dann wohl aus der Materie werden? würde sie wohl noch die Eigenschaften besitzen, die wir ihr als wägbarem Stoffe zuschreiben? Newton vermuthete, dass sie dann in den freien Wärme- und Lichtstoff übergehen würde, wir aber sagen, dass sie sich in den Stoff verwandelt, den wir als unwägbaren Aether bezeichnen. In ähnlicher Weise macht der berühmte Chemiker Chevreul die Bemerkung, dass die vier Elemente der Alten, Erde, Wasser, Luft und Feuer, den vier Zuständen gleichzusetzen sind, in denen die Materie erscheinen kann, nämlich als fester, flüssiger, luftförmiger Stoff und als Aether, indem letzterer als der äusserste Grad der Trennung der Theilchen durch die Wärme anzusehen ist[1]); und ebenso spricht sich Gaudin dahin aus,

[1]) Bekanntlich hat Crookes im Jahre 1878 sehr interessante Versuche angestellt über den Durchgang des Funkens einer Inductionsspirale durch einen Raum, in dem die Verdünnung der Gase bis auf weniger als ein Millionstel Atmosphäre getrieben war. Es zeigte sich ein wesentlich anderes Verhalten als beim Durchgang der Elektricität durch weniger verdünnte Gase, indem sich die leuchtenden Strahlen in gerader Richtung rechtwinklig zur Oberfläche der negativen Elektrode ohne Rücksicht auf die Lage der positiven ausbreiten. Treffen die Strahlen auf ein Hinderniss, so werden sie aufgehalten, sodass hinter demselben eine Art Schatten entsteht; besteht das Hinderniss aus den Flügeln eines Rades, so wird dasselbe in lebhafte Umdrehung versetzt, eine Glaswand dagegen wird nach einiger Zeit durchbohrt. Crookes nahm an, dass bei so starker Verdünnung jedes Molecül auf seiner Bahn einen verhältnissmässig grossen Weg zurücklegen muss, bevor es auf ein anderes trifft, während bei geringer Verdünnung dieser Weg sehr klein ist: er bezeichnet jenen Zustand als den ultragasigen oder vierten Aggregatzustand, und die Materie, die sich in ihm befindet, als strahlende Materie. (Proceed. of the R. S., Vol. XXVIII, N. 191, p. 103.) Wegen des Verhaltens jener Strahlen gegen den Magneten leugnet August Voller die Existenz der strahlenden Materie und erklärt die Erscheinung für einen galvanischen Strom. (Verh. d. Naturw. Ver. zu Hamburg-Altona, 1880. S. A.

dass das Molecül des Aethers durch das elementare Atom in seiner äussersten Isolirung gebildet werde [1]).

Wir wollen jetzt nicht das vorausnehmen, was wir erst weiter unten auszusprechen und zu entwickeln haben, und wollen diese vorbereitende Betrachtung über die abstossenden Kräfte nur noch mit der Bemerkung schliessen, dass uns nach dem Zeugnisse der Thatsachen der unsprüngliche und natürliche Zustand der Materie nicht der zu sein scheint, in welchem die Theilchen durch gemeinsame Bande der Cohäsion und Festigkeit mit einander verbunden sind, sondern eher der, in welchem sie absolute Freiheit und Unabhängigkeit von einander geniessen. So zeigen sich uns die Nebelflecke als gasförmige Massen, da ihre Spectren nur aus einzelnen schmalen Banden bestehen: und wenn es einen Stoff giebt, von dem man sagen kann, dass er sich noch im elementaren Urzustande befindet, so ist es der jener Himmelskörper. Dagegen sind die Formen, welche von dem Zusammenhange der Theile abhängen, erst später hinzugekommen, und die Kräfte, die man gewöhnlich als die Ursachen derselben ansieht, können möglicherweise die indirecten Wirkungen der Bewegungen sein, in welchen sich die Materie befindet. Wie man sich letzteres zu denken hat, davon werden wir später sprechen: jetzt aber fahren wir fort in der Erklärung der wichtigsten Erscheinungen, die durch die Wärme hervorgerufen werden, indem wir diese Kraft als eine mechanische Energie ansehen.

KAPITEL IX.

Prüfung der Arbeit im Innern der Körper, besonders bei den Erscheinungen der Ausdehnung.

Wie wir schon früher erwähnt haben, ist die Ausdehnung der Körper diejenige Erscheinung, die am häufigsten durch die Wärme bewirkt wird und die uns das bequemste Mass für die Temperaturbestimmungen liefert. Da nun in den verschiedenen Körpern bei gleichem Volumen doch sehr verschiedene Massen enthalten sind,

Es entsteht nur hier wieder die Frage, was man sich unter einem galvanischen Strome vorstellen soll: doch wohl auch wieder eine Bewegung von Materie? Sch.

[1]) S. Mondes, appl. de sc. pure, 1863, p. 399 u. 400. S.

und da ferner die inneren Widerstände, welche die Wärme zu überwinden hat, in ihnen von sehr verschiedener Grösse sind, da also auch die Arbeit, welche zu diesem Zwecke geleistet werden muss, von sehr verschiedener Grösse ist, so ist die nothwendige Folge, dass sich die Körper durch gleiche Wärmemengen nicht um dieselbe Grösse ausdehnen können. Diese Erscheinung verdient die eingehendste Erörterung, denn sind die Principien, auf denen sie beruht, einmal festgestellt, so ist damit die Erklärung für eine sehr grosse Zahl von Erscheinungen gegeben, die durch die gewöhnliche Anschauungsweise nicht aufgeklärt werden können, sondern nur als einmal bestehende Thatsachen angesehen werden, für welche sich ein Grund nicht angeben lässt. Zwar sind diese Untersuchungen noch weit von ihrem Abschlusse entfernt, aber diese Dämmerung, in der sie noch liegen, verspricht ein klares, helles Licht, wenn ein fleissiges und geduldiges Streben die umgebenden Wolken zerstreut haben wird.

Alle Körper werden durch die Wärme ausgedehnt: das ist eine allgemein anerkannte Thatsache, welche im Allgemeinen, bis auf wenige Ausnahmen, wahr ist; nur in manchen Körpern, wie z. B. in mehreren organischen Stoffen und einigen Thonarten, gehen die Molecüle durch die Erwärmung eine engere Verbindung mit einander ein, bei krystallisirten Körpern dagegen nehmen sie bisweilen eine andere gegenseitige Lage an. Die letzteren dehnen sich entweder nach allen Seiten hin aus, wie das Eis, oder die Ausdehnung erfolgt nur nach einer Richtung, während in anderen Richtungen eine Zusammenziehung stattfindet; dies das Resultat der Untersuchungen von Fizeau und Soleil [1]), welche zeigten, dass jeder Krystall drei von einander unabhängige, rechtwinklige Axen der Ausdehnung hat, und dass in der Richtung der einen dieser Axen häufig Zusammenziehung an Stelle der Ausdehnung tritt.

Mit jeder Ausdehnung ist aber eine innere Arbeit verbunden, und es muss nun unsere Aufgabe sein, zu zeigen, wie sich nach der neuen Theorie alle die verschiedenen Thatsachen unter diesen einen Gesichtspunkt bringen lassen. Zu diesem Zwecke gehen wir wieder von der Formel (a) in Cap. VI. aus, welche lautete:

$$Q = K(t_1 - t_0) + A\Delta + AP,$$

und welche die Bedeutung hatte, dass die gesammte Wärmemenge

[1]) S. Comptes rendus, V. LXVI, p. 1079. S.

sich aus dem Theile, der die Temperatur erhöht, und den Theilen, welche innere und äussere Arbeit verrichten, zusammensetzt.

Als wir diesen Ausdruck auf die Gase anwendeten, bei denen die Grösse der inneren Arbeit $A\Delta$ der Null gleichkam, so fanden wir, dass wir für die Wärmecapacität zwei Werthe unterscheiden mussten, den einen q', der für constanten Druck, den anderen K, der für constantes Volumen gültig ist, woraus wir weiter die Grösse des mechanischen Aequivalentes der Wärme ableiten konnten, indem wir setzten:

$$q' = K + A \alpha p v.$$

Nur die Grösse K ist hierbei das Mass für die Temperaturerhöhung, während durch das andere Glied des Ausdruckes die Ausdehnung des Volumen bewirkt wird; das letztere verrichtet also die äussere Arbeit, dass es den Druck der Atmosphäre überwindet.

Wendet man dagegen die Wärme zur Ausdehnung fester Körper an, so lässt sich die äussere Arbeit AP vernachlässigen, da die Ausdehnung immer nur eine sehr geringe Grösse ist und der Luftdruck mithin nur durch einen sehr geringen Raum zurückgedrängt wird; dagegen ist jetzt die innere Arbeit $A\Delta$ von beträchtlicher Grösse, sodass man für die Wärmemenge, die erforderlich ist um einen festen oder flüssigen Körper von der Temperatur t_0 auf die Temperatur t_1 zu erheben, folgenden Werth setzen muss

$$Q = K (t_1 - t_0) + A\Delta,$$

wobei Δ die Arbeit bedeutet, welche bei der Ueberwindung der inneren Widerstände geleistet wird, während der erste Ausdruck den Zuwachs an lebendiger Kraft für die einzelnen Molecüle bedeutet. Es würde nun unsere Aufgabe sein, für einen gegebenen Körper, wenn möglich, das Verhältnis dieser beiden Grössen zu bestimmen, von denen wir die erste als die actuelle, die andere als die virtuelle Energie der Molecüle bezeichnen können, die beide zusammen aber die ganze Energie ausmachen.

Ehe wir aber dieses Verhältniss bestimmen, müssen wir fragen, ob die Thatsachen uns überhaupt darauf hinweisen, dass zwischen den inneren Kräften der Körper, von denen jene Arbeiten abhängen, und den zur Leistung der Arbeit nöthigen Calorien eine Beziehung besteht. Ist dies der Fall, so muss es sich bei der Vergleichung der Erscheinungen zeigen, da die physikalischen Eigenschaften der Härte, Cohäsion, Zähigkeit u. s. w. von derselben Kraft abhängig sind, welche die Wärme überwinden muss, sodass die Menge der

letzteren, die in einem Körper einen bestimmten Effect hervorbringt, mit der zu besiegenden gegnerischen Kraft im directen Verhältnisse stehen muss.

Noch ist zu bemerken, das die Wirkungen der Wärme nach Verhältniss der Volumina der Körper zu vergleichen sind, weil sie auf Aenderungen des Abstandes der Molecüle hinauslaufen, und nicht nach dem Verhältniss der Gewichte, die ein gleiches Volumen erfüllen. So findet man für die Gase wohl bei gleichem Druck und gleichem Volumen dieselbe specifische Wärme, nicht aber bei gleichem Gewichte: und hieraus kann man schliessen, dass ein analoges Gesetz auch für die festen Körper gelte. Während sich also der Zusammenhang zwischen Wärme und physikalischen Eigenschaften der Körper unseren Blicken entzieht, so lange wir das Gewicht als Mass zu Grunde legen, so kann er offenbar werden, sobald wir die Rechnung für das Volumen ausführen. Diese Beziehungen sind durch Cantoni in klares Licht gestellt und in einer ausführlichen Abhandlung, der wir viele der nachstehenden Vergleichungen und Resultate entnehmen werden[1]), besprochen worden.

Fragen wir zunächst nach der Menge der Wärme, die nöthig ist, um die Temperatur der verschiedenen Stoffe um eine gleiche Anzahl Grade zu erhöhen, so finden wir, wenn wir die Menge der Stoffe nicht nach dem Gewichte, sondern nach dem Volumen bestimmen, für diese Grösse, die wir relative Wärme nennen, folgende Werthe, welche also angeben, wieviel Calorien erforderlich sind, um die Temperatur von 1 Cubikdecimeter der genannten Stoffe um 1° C. zu erhöhen.

Stoffe.	Calorien.	Stoffe.	Calorien.
Kalium	0,143	Selen	0,343
Natrium	0,283	Blei	0,357
Jod	0,267	Schwefel	0,359
Tellur	0,286	Zinn	0,415
Wismut	0,305	Magnesium . . .	0,435
Antimon	0,340	Silicium	0,428

[1]) S. Cantoni, Relazioni tra alcune proprietà termiche, ed altre proprietà fisiche dei corpi. Pavia, 1862, p. 15. S.

Stoffe.	Calorien.	Stoffe.	Calorien.
Arsen	0,440	Zink	0,669
Cadmium . . .	0,487	Palladium	0,670
Diamant	0,519	Iridium	0,678
Aluminium . . .	0,556	Platin	0,685
Lithium	0,559	Bor	0,695
Molybdän. . . .	0.567	Kupfer	0,842
Wolfram	0,587	Eisen	0,882
Rhodium	0,615	Kobalt	0,906
Gold	0,624	Mangan	0,921
Osmium	0,662	Nickel	0,961

Hätten wir für dieselben Stoffe die specifische Wärme bei gleichem Gewichte zusammengestellt, so würden wir wenig Uebereinstimmung erkennen; aus dieser Tabelle für die relative Wärme dagegen erkennen wir: 1) dass die Wärmecapacitäten bei gleichem Volumen für die verschiedenen Körper weit weniger von einander abweichen, als bei gleichem Gewicht, und 2) dass wir die niedrigsten Zahlen für die Metalle finden, die den geringsten Zusammenhang der Theilchen besitzen, wie Kalium, Natrium u. s. w., die mittleren für die, bei denen jener Zusammenhang, wie auch die Schmelzbarkeit einen mittleren Werth hat, wie Blei, Zinn u. s. w., und endlich die höchsten für das Eisen und seine Begleiter, woraus wir schliessen dürfen, dass die relative Wärme mit der Zähigkeit und Cohäsion der Körper wächst. Auch da, wo die Theilchen eines und desselben Stoffes in verschiedenen Formen des inneren Zusammenhanges auftreten, macht sich dies zugleich durch die verschiedenen Werthe der relativen Wärme geltend: so sehen wir diese Grösse beim Kohlenstoffe in sehr auffälliger Weise wachsen, wenn die Cohäsion zunimmt, denn wir haben

	Capacität bei gleichem Gewichte	Capacität bei gleichem Volumen
für Holzkohle	0,242	0,110
„ Graphit	0,202	0,444
„ Diamant	0,147	0,519;

und schliesslich sehen wir noch, dass in demselben Körper die specifische Wärme mit der Temperatur selbst, d. h. also mit der Vergrösserung des Volumen, wächst.

Dasselbe Gesetz lässt sich weiter bei den Flüssigkeiten nachweisen, bei denen die Verhältnisszahlen für die specifische Wärme zwischen die Grenzen 1 und 30 fallen, während die relative Wärme in die Grenzen 1:3,5 eingeschlossen ist[1]); dabei sind die Zahlen für die Flüssigkeiten, mit Ausnahme des Wassers, kleiner als für die Metalle mit grösserer Cohäsion, die kleinsten Zahlen aber kommen den flüchtigsten und wenigst cohärenten Flüssigkeiten zu. — Hierdurch erledigt sich zugleich der gegen die Wärmetheorie erhobene Einwurf, dass man für die weniger cohärenten Körper, wie die Flüssigkeiten, grössere Werthe der specifischen Wärme gefunden hat, als für die dichteren Metalle. Die Schwierigkeit erwuchs nur daraus, dass man nicht den richtigen Gesichtspunkt gewählt hatte, dass man nicht beachtet hatte, dass es sich um den Raum handelt, in dem die Molecüle oscilliren, und dass man deshalb das Volumen, und nicht das Gewicht in Rechnung ziehen muss. Dass wir bei manchen Flüssigkeiten manche Ausnahmen finden, dass namentlich das Wasser ein abweichendes Verhalten zeigt, mag darin seinen Grund haben, dass dieselben meistens nicht einfache Körper, sondern chemische Verbindungen sind, und dass daher der grössere Werth mit durch das Gesetz der Zusammensetzung, von dem wir später sprechen werden, bedingt wird.

Suchen wir weiter die Wärmemenge, welche ohne Rücksicht auf das Gewicht eine Aenderung des Volumen herbgeführt, die zum ursprünglichen Volumen in einem bestimmten Verhältnisse steht, so erhalten wir eine Grösse, die Cantoni mit dem Namen der Calorien der Ausdehnung bezeichnet; für folgende Körper hat man die beistehenden Werthe gefunden:

Feste Körper.

Stahl	2,659	Antimon	1,030
Platin	2,585	Aluminium	0,835
Eisen	2,185	Zink	0,784
Kupfer	1,638	Wismut	0,744
Gold	1,448	Zinn	0,615
Messing	1,397	Cadmium	0,519
Silber	1,042	Blei	0,399

[1]) Eine grössere Liste für zahlreiche Flüssigkeiten s. bei Cantoni, p. 18.
S.

Flüssigkeiten.

Quecksilber	0,2508	Brom	0,0334
Schwefelsäure . . .	0,1209	Chloroform	0,0320
Salpetersäure . . .	0,0861	Aethyläther	0,0258

Auch diese Werthe sind für die Metalle, welche die grösste Cohäsion besitzen, am grössten: für die Flüssigkeiten sind sie wesentlich kleiner, am niedrigsten für die flüchtigsten, weniger für die dichteren, wie Quecksilber und Schwefelsäure.

Wollten wir nun untersuchen, in welchem Verhältnisse die Calorien für die Temperaturerhöhung zu den Aeusserungen der Cohäsion stehen, die wir als Elasticität, Festigkeit, Zähigkeit u. s. w. bezeichnen, so müssten wir finden, dass die Zahl jener Calorien bei gleichen Gewichten im directen Verhältnisse zur Cohäsion, aber im umgekehrten Verhältnisse zur Dichtigkeit steht; nehmen wir dagegen für die Temperaturcalorien die Volumina zum Massstabe, so stehen dieselben nur im directen Verhältnisse der Cohäsion, da man ihren Werth findet, wenn man die Zahl der Temperaturcalorien für gleiches Gewicht mit der Dichtigkeit multiplicirt. Bedeutet c die Zahl der Calorien, welche die Gewichtseinheit eines Körpers, v die der Calorien, welche die Raumeinheit desselben Körpers um eine bestimmte Anzahl Grade erheben, sei d die Dichtigkeit und K die Cohäsion desselben, und haben die mit Accenten versehenen Buchstaben für einen zweiten Körper dieselbe Bedeutung, so ist nach dem vorstehenden Satze:

$$c : c' = \frac{K}{d} : \frac{K'}{d'};$$

da nun aben $v = c\, d$, $v' = c'\, d'$ ist, so findet sich weiter

$$v : v' = K : K'.$$

Diesen Satz durch Versuche zu bestätigen hat seine Schwierigkeiten, da die Grösse der Cohäsion nicht mit genügender Schärfe bestimmt werden kann: dagegen ist die Elasticität eine höchst geeignete und schon sehr gut untersuchte Eigenschaft, welche ebenfalls eine gewisse Beweglichkeit der Theile und Veränderlichkeit der Kräfte, die die einzelnen Molecüle wieder an ihren Platz bringen wollen, voraussetzt. Man bestimmt den Werth der sogenannten absoluten Elasticität der Körper dadurch, dass man die Verlängerung durch angehängte Gewichte beobachtet, darf aber die letzteren nicht so gross wählen, dass dadurch die Molecüle aus ihren Attractionssphären

gerückt werden, wodurch die Formveränderung eine dauernde sein würde. Da diese Verlängerung einer gewissen Arbeit gleichzusetzen ist, so galt es nachzuweisen, ob zwischen dieser künstlichen und gewaltsamen Ausdehnung, welche ebenfalls nach dem Volumen zu bestimmen ist, und der natürlichen, die durch Wärme hervorgebracht wird, eine Beziehung besteht. Die Versuche haben ergeben, dass das Verhältniss der relativen Wärme zum Elasticitätscoëfficienten für alle nicht krystallisirten Metalle nahezu constant ist und etwa dem Werthe 1,36 gleichkommt[1]). Mit andern Worten: lässt man auf gleiche Volumina jener Metalle gleiche Wärmemengen einwirken, so werden dieselben im Stande sein, einen Druck im Gleichgewichte zu halten, welcher z. B. durch ein gewisses, bei allen gleiches Gewicht auf die Stäbe ausgeübt wird; mit derselben Wärmemenge, die zur Erwärmung von Stäben verschiedener Metalle, aber von gleichen Dimensionen, benutzt wird, und also auch mit demselben Kostenaufwande, lassen sich mithin sehr nahe gleiche Druckkräfte erzeugen. Auch das mechanische Aequivalent der Wärme lässt sich aus diesem Verhältnisse bestimmen und ergiebt sich daraus gleich 424 Meterkilogramm: eine neue glänzende Bestätigung der Theorie, durch welche zugleich die Zweifel zerstreut werden, die gegen die Art, wie die Elasticitätscoëfficienten bestimmt werden, erhoben worden sind. Es ist sonach wohl anzunehmen dass für die erwähnten Metalle die Werthe der relativen Wärme im zusammengesetzten Verhältnisse der Elasticitäts- und Ausdehnungscoëfficienten steht.

Diese Coëfficienten haben bei den Metallen, die krystallinische Structur haben oder die durch den Drahtzug gegangen sind, einen anderen Werth; allein man hat in diesen Fällen noch die Arbeit in Rechnung zu ziehen, welche auf die Orientirung der Molecüle verwendet wird: dieser Verbrauch an Kraft, der gar nicht gering anzuschlagen ist, macht sich bei der Untersuchung mehrerer Mineralien geltend, deren Ausdehnungscalorien je nach der Krystallform verschieden sind. So hat man gefunden, dass für eine ziemliche Anzahl von Mineralien, deren Krystallform sich auf ein rechtwinkliges Axensystem zurückführen lässt, die Ausdehnungscalorien der relativen Härte proportional sind, während sich das Verhältniss für rhomboëdrische Krystalle umkehrt; auch zeigt sich bei diesen die Zahl der Calorien um so grösser, je grösser der Unterschied der Aus-

[1]) S. Cantoni, op. cit. p. 24 und sein Manuale di fisica, p. 531. S.

dehnung nach den verschiedenen Axen ist. Im Allgemeinen brauchen die krystallisirten Stoffe zur Ausdehnung eine grössere Zahl Calorien als die festen Körper von amorpher Structur, und es zeigt sich in dieser Eigenthümlichkeit eine merkwürdige Analogie damit, dass dieselben Stoffe im amorphen Zustande von den chemischen Reagentien viel leichter angegriffen werden als im krystallinischen, und dass auch ihre Härte im letzteren Falle viel bedeutender ist [1]).

Zwar ist die Zahl der Beobachtungen bezüglich der Krystalle noch zu gering, als dass man sie zur Ableitung allgemeiner Gesetze benutzen könnte; immerhin aber genügen dieselben um uns die Erscheinungen aus einem neuen Gesichtspunkte zu zeigen, der sich der Wahrheit mehr nähert als der bisherige und auch bessere Resultate verspricht.

Es ist bekannt, dass die Werthe der Wärmemengen, die erforderlich sind um sowohl bei festen, als auch bei flüssigen Körpern eine bestimmte Ausdehnung hervorzubringen, mit wachsender Temperatur selbst abnehmen; der Grund hierfür ist leicht einzusehen, denn in dem Masse, wie die inneren Bande lockerer und die Widerstände geringerer werden, wird natürlich auch eine geringere Kraft erforderlich sein um die Molecüle von einander zu trennen, was um so leichter geschehen wird, je weiter die Molecüle bereits von einander entfernt sind. So nimmt auch die Cohäsion und die Wirkung der Capillarität des Wassers, wie die Wärmecapacität, mit wachsender Temperatur ab; und aus demselben Grunde finden wir auch für einen und denselben Stoff einen grösseren Werth der Ausdehnungscalorien, wenn er sich im festen, als wenn er sich im flüssigen Zustande befindet: für festen Schwefel hat man den Werth 0,225, für flüssigen 0,082 und beim Phosphor sind die entsprechenden Zahlen 0,0901 und 0,0654 [2]).

Bei den permanenten Gasen [3]) ist die innere Arbeit, die zur Ueberwindung der Cohäsion erforderlich ist, gleich Null zu setzen,

1) S. Cantoni, p. 29. S.

2) S. Cantoni, p. 40. S.

3) Hoffentlich wird Niemand Anstoss daran nehmen, dass wir die alten Ausdrücke beibehalten, trotzdem dass unsere Vorstellungen durch Cailletet's und Pictet's Entdeckungen eine wesentliche Berichtigung erfahren haben.

Sch.

und daher zeigt sich die Wärmecapacität bei gleichem Volumen und Druck für alle von gleicher Grösse, während die specifische Wärme sehr verschiedene Werthe besitzt; für alle anderen luftförmigen Körper aber, mögen dieselben nun einfach oder zusammengesetzt sein, ist die relative Wärme und die Zahl der Ausdehnungscalorien grösser, wenn die Dehnbarkeit eine grössere ist: beide Grössen stehen mit der Dichtigkeit und dem geringen Grade von Cohäsion, den ihre Molecüle zeigen, im engsten Zusammenhange. Denn es ist wohl zu beachten, dass nicht alle luftförmigen Körper in gleichem Grade frei sind: viele unter ihnen, die bei den gewöhnlichen Temperaturen luftförmig erscheinen, sind doch in Wirklichkeit Dämpfe von Körpern, die man durch künstliche Mittel im festen oder flüssigen Zustande darstellen kann, und für sie gelten die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac nicht in aller Strenge. Berechnet man nun für diese luftförmigen Körper die Ausdehnungscalorien in ähnlicher Weise wie für die festen und flüssigen Körper, d. h. indem man das gleiche Volumen zu Grunde legt, so differiren die gefundenen Werthe weit weniger als die für gleiches Gewicht bestimmten, und es ist wohl zu beachten, dass die Werthe um so grösser werden, je mehr sich die Luftart ihrem Condensationspunkte nähert. So beträgt die Wärmecapacität für die Kohlensäure, die schwefelige Säure und das Stickoxydulgas 0,0000116, während sie für die permanenten Gase und das Kohlenoxydgas nur 0,0000083 beträgt; der Wasserdampf von 32 Atmosphären Spannung hat nach Hirn eine innere Molecularkraft von $6\,^1/_3$ Atmosphäre, welche Grösse durchaus nicht vernachlässigt werden darf.

Endlich ist auch die Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme von jenen molecularen Eigenthümlichkeiten abhängig. Im Allgemeinen sind die geschmeidigen, aber weichen und nicht elastischen Körper, wie die Thone, die Harze u. s. w. die schlechtesten Leiter, und ebenso sind es unter den Metallen die biegsamsten, streckbarsten und wenigst elastischen, wie Kalium, Natrium und Blei. Für das Leitungsvermögen scheinen zwei Eigenschaften erforderlich zu sein: erstens eine gewisse leichte Beweglichkeit, durch welche die Theilchen schnell auf einander wirken und welche sich als Geschmeidigkeit äussert, und zweitens die Fähigkeit der Molecüle, sofort in ihre Lage zurückzukehren, d. h. ein gewisser Grad von Elasticität; für sich allein genügt weder die eine noch die andere dieser Eigenschaften, um den Körper zum guten Leiter zu

machen. So ist z. B. das Glas sehr elastisch, aber die Theilchen wirken nicht leicht auf einander, und daher ist auch sein Leitungsvermögen nicht bedeutend. Wir werden später eine ganze Reihe von Eigenschaften kennen lernen, welche mit diesem molecularen Zustande im Zusammenhange stehen: für jetzt bemerken wir nur, dass die edelsten Metalle, Gold, Silber, Platin, auch Kupfer u. s. w. die besten Leiter sind, da sie ausserordentlich geschmeidig, und doch dabei sehr elastisch sind. Der Grund hierfür scheint darin zu liegen, dass, je grösser die Excursionen sind, welche die Molecüle eines Körpers durchlaufen können, und je leichter sie in ihre ursprüngliche Lage wieder zurückkehren, sie auch desto leichter die benachbarten Theilchen treffen und den Stoss auf grössere Entfernungen hin weiter verbreiten, wodurch die Ausbreitung der Wärmeschwingungen durch den übrigen Theil der Masse des Körpers beschleunigt wird.

Die Flüssigkeiten verbreiten die Wärme durch Bewegung ihrer Theilchen, doch lässt sich, wie Magnus gezeigt hat, auch bei ihnen ein Leitungsvermögen im eigentlichen Sinne nicht verkennen; und dasselbe gilt auch für die Gase. Die stärksten Wirkungen zeigen sich bei denjenigen unter ihnen, welche die grösste Beweglichkeit besitzen, also beim Wasserstoffe unter den Gasen, beim Quecksilber unter den Flüssigkeiten.

Aus allem, was wir bisher erwähnt haben, können wir nun diese Folgerung ziehen: welches auch der Ursprung der Molecularkräfte sein mag, so wird ihre Intensität stets geringer, sobald der Abstand ihrer Wirkungssphäre grösser wird und alles, was die Zwischenräume zwischen den Molecülen vergrössert, bewirkt eine Abnahme der Energie jener Kräfte, sodass nur noch eine geringere Quantität der Arbeit zu leisten ist um in den Körpern selbst einen gewissen Effect zu erzielen.

Kurz, alles stimmt mit dem Grundprincipe überein: die Wärmemenge, welche nöthig ist, um einen bestimmten Effect zu bewirken, ist immer proportional der Arbeit, welche an den einzelnen Molecülen geleistet werden muss, einestheils um die Widerstände, die sich dem gewünschten Effecte entgegenstellen, zu überwinden, anderentheils um die Schwingungsamplitude der Molecüle selbst zu vergrössern.

Alle diese Erscheinungen werden in ihren Grundzügen ver-

ständlich, sobald man annimmt, dass jedes Molecül oder jedes Atom der Mittelpunkt einer anziehenden Kraft ist, welcher die Wärme mit ihrer ausdehnenden Kraft widerstreitet; und damit ist auch der Vergleich gerechtfertigt, den wir früher gemacht haben, dass die von den Molecülen beschriebenen Bahnen eine gewisse Analogie besitzen mit den Bahnen, welche die Astronomen für die Sterne berechnen: die Erweiterung beider Bahnen verlangt eine Arbeit. Bei den Molecülen eines Körpers besteht diese Arbeit, wie Hirn sehr gut unterscheidet, in dem Ueberschusse der gewöhnlichen Wärmecapacität, d. h. derjenigen, welche sowohl Temperaturerhöhung bewirkt, als auch innere Arbeit verrichtet, über die absolute Capacität, welche nur die Temperatur erhöht.

Hier lässt sich nun sehr wohl die Frage aufwerfen, ob dieselbe Kraft, welche die Planeten in ihren Bahnen lenkt, ob also die Schwerkraft oder allgemeine Massenanziehung ausreicht um auch die Molecularerscheinungen zu erklären, und ob die Druckkräfte, welche im Innern der Körper zu überwinden sind, sich als einfache Folgen der Anziehung ansehen lassen, welche die Molecüle vermöge ihrer Masse auf einander ausüben.

Allein schon aus der Kraft, mit welcher wir die molecularen Thätigkeiten wirken sehen, können wir schliessen, dass diese unendlich kleinen Theilchen eine Energie entwickeln, der im strengen Sinne des Wortes nichts widerstehen kann: denn die gewaltigsten Widerstände sind unfähig gegen diese verkleideten Riesen [1]) anzukämpfen. Die Contraction des Eisen, wenn es sich abkühlt, kann benutzt werden um Münzen zu prägen und die Ausdehnung des erstarrenden Wassers ist im Stande die stärksten Kanonenrohre zu sprengen. Nach Hirn ist der Widerstand, den das Wasser der Auflösung entgegenstellt, wenn es auf 100° erwärmt ist, gleich einem Drucke von 27110, bei 60° aber gleich 47448 Atmosphären! Und hier handelt es sich nur um eine Flüssigkeit, welche sich folglich mit so ungeheurer Gewalt ausdehnen würde, wenn jene Cohäsion, die man gewöhnlich so gering anschlägt, plötzlich zu wirken aufhörte. Vergleichen wir nun die Intensität einer solchen Kraft mit einer anderen, deren Grösse uns geläufiger ist, nämlich mit der Schwerkraft: so werden wir dabei noch den Vortheil haben, dass wir da-

[1]) Tyndall, Mondes, vol. 11, p. 101. S.

durch zugleich in den Stand gesetzt werden die Frage zu beantworten, ob sich jene Kräfte als einfache Wirkungen der allgemeinen Massenanziehung ansehen lassen oder nicht. Zwar haben bedeutende Mathematiker, wie z. B. Laplace, versucht, die Molecularkräfte auf die allgemeine Schwere zurückzuführen; nach dem aber, was wir nun entwickeln werden, wird sich die Unmöglichkeit dieser Annahme klar herausstellen.

Ausführlich wurde dieser Gegenstand von Prof. Belli behandelt, aus dessen Abhandlung [1]) wir das mittheilen wollen, was uns hier interessirt. Der genannte Gelehrte berechnete, wie gross die Kraft K sein muss, mit der zwei Punkte, in deren jedem die Masse von einem Kilogramm concentrirt ist, und deren Abstand ein Meter beträgt, allein durch die allgemeine Massenanziehung auf einander wirken oder, anders ausgedrückt, welche Bewegungsgrösse K der eine Punkt nach Verlauf einer Secunde erlangt hat, während welcher ihn der andere gleichmässig anzog; es ist dann $\frac{K}{g}$ die Anzahl Kilogramme, welcher jene Kraft gleich zu setzen ist an einem Orte, wo die Schwerkraft die Grösse g besitzt. Bezeichnet man die mittlere Dichtigkeit der Erde mit δ, so ergab die Rechnung

$$K = 0{,}000000\ 000367\ 990 \cdot \frac{1}{\delta}\ .$$

Hierauf berechnete Belli die Anziehung zweier Würfel aus irgend welchem Stoffe, welche mit einander in Berührung sind, und fand die Intensität dieser Anziehung für zwei eiserne Würfel, deren Seitenlänge 1^{cm} beträgt, die Dichtigkeit der Erde $= 5{,}0$ gesetzt,

$$\chi = 0{,}000000\ 000004\ 21867,$$

also wenig grösser als 4 Billiontel eines Kilogramms. Da nun die absolute Festigkeit des Eisen für $1^{q.cm}$ $T = 4470^{kgr}$ ist, so wird

$$\chi = \frac{1}{1059\ 570000\ 000000}\ T;$$

es ist also die Massenanziehung gleich einem verschwindend kleinen Bruch der molecularen Anziehung. Auch für zwei Würfel von einem Meter Seitenlänge würde die Anziehung nur $0{,}42^{gr}$ betragen, also gegen den Werth der Festigkeit verschwinden.

[1]) Belli, Memoria sull' attrazione moleculare. Mailand, 1833. S.

Bei dieser Rechnung ist vorausgesetzt, dass die Materie ein Continuum im geometrischen Sinne sei: daher kann man fragen, ob sich vielleicht die Anziehungskraft von genügender Grösse ergiebt, wenn wir annehmen, dass der Stoff in einzelnen Centren von sehr grosser Dichtigkeit und sehr geringem Volumen im Verhältnisse zu ihrem Abstande concentrirt sei. Dagegen bemerkt nun Belli, dass, wenn man die vorerwähnte Anziehung zweier Würfel mit C, die Anziehung zweier Kugeln, welche ebenso viel Masse haben als jene und sich berühren, mit S bezeichnet, sich $C : S = 3 : 2$ ungefähr verhält, dass sich also für die Kugeln ein noch geringerer Werth ergibt als für die Würfel.

Nehmen wir nun an, dass die Körper aus vielen physischen Punkten bestehen, die sich in einem gewissen Abstande von einander befinden, in denen aber der Stoff eine sehr grosse Dichtigkeit besitzt, so könnten wir statt jedes dieser Punkte eine Kugel von gleichmässiger Dichtigkeit setzen, da bekanntlich eine solche Kugel nach Aussen hin genau so wirkt, als ob ihre ganze Masse im Mittelpunkte vereinigt wäre, die Radien aber könnten wir von solcher Grösse wählen, dass sich die Kugeln berühren. Hierauf theilen wir durch Ebenen den ganzen Körper in so viele kleine Würfel, als es Massenpunkte in ihm gibt, und substituiren für jeden Punkt eine Kugel, deren Dichtigkeit wir so gross annehmen, dass sie, mit Rücksicht auf die Hohlräume zwischen den Kugeln, der Dichtigkeit der continuirlich gedachten Masse des Körpers gleichkommt; und endlich denken wir uns auch noch die Lücken zwischen den Kugeln mit Materie ausgefüllt, substituiren also für jede Kugel einen kleinen Würfel. Hierdurch haben wir die Massenanziehung sicher nicht verringert, denn wir haben einestheils Masse hinzugefügt, anderntheils für die Kugeln Würfel eingesetzt, deren Anziehung, wie oben erwähnt, ja eine grössere ist: und dennoch ist nun immer noch, wie wir gesehen haben, die Massenanziehung weit geringer, als die beobachtete moleculare Anziehung; wie viel mehr wird also der Unterschied für Kugeln oder Punkte betragen. Die Hypothese von Laplace genügt also in keiner Weise, um die Grösse der molecularen Anziehung zu erklären: aus der einfachen Massenanziehung lässt sich daher jene Kraft nicht ableiten.

Damit ist nicht gesagt, dass die Hypothese absolut falsch sei, denn wir haben ihre Unmöglichkeit nur für den Fall nachgewiesen, dass die Attractionscentren im Körper gleichmässig ver-

theilt seien: vereinigen sich dagegen diese Centren in der Weise, dass dadurch der Körper eine fadenförmige Structur erhält, so könnte dadurch ein Effect erzielt werden, welcher der Cohäsion gleichkommt. Nur müsste in diesem Falle die Dichtigkeit eines Fadens so viel Mal so gross angenommen werden, als wie oft sein Querschnitt im Quadratcentimeter enthalten ist; das führt aber auf die enorme Zahl $10^{32\,000000\,000000\,000000}$. Dass dies der Fall sei, ist doch zu unwahrscheinlich: denn, will man sich von dieser Dichtigkeit eine Vorstellung machen, so muss man sich vorstellen, dass der ganze Raum bis zu den nächsten Fixsternen mit Platin erfüllt und diese ganze Metallmasse bis zum Volumen eines Stecknadelkopfes zusammengedrückt wäre; ein solcher Körper wird etwa die verlangte Dichtigkeit besitzen.

Die Molecularkräfte folgen daher entweder einem andern Principe, oder, wenn das Princip dasselbe ist, so sind wenigstens die Gesetze, nach denen es zur Anwendung kommt, andere. Zu demselben Resultate werden wir auch bezüglich der anderen Naturkräfte kommen, wie sich später zeigen wird. Noch lässt sich folgende Thatsache als Beweis dafür anführen, dass sich die Molecularkräfte von der Schwerkraft unterscheiden. Ist ein Körper zerbrochen, so lassen sich die beiden Theile nicht dadurch wieder mit einander vereinigen, dass man sie mit den Bruchflächen genau an einander passt, sondern es ist jedesmal nothwendig, dass sie, wenigstens an ihrer Oberfläche, geschmolzen oder in einen Zustand versetzt werden, der dem geschmolzenen Zustande nahe kommt. Der Grund ist in Folgendem zu suchen: im Augenblicke des Durchbrechens wird die Circulation der Molecüle an der Bruchfläche unterbrochen und es wird sich daselbst wieder ein neues dynamisches Gleichgewicht herstellen; werden die Flächen nun wieder genähert, so kann der vorige Gleichgewichtszustand nicht wieder ohne weitere Ursache eintreten, d. h. die beiden Theile können nicht wieder ein Ganzes bilden. Dass bei einer Trennung der Theilchen ein heftiger Umsturz in der Verbindung der Molecüle erfolgt, sieht man z. B. daraus, dass beim heftigen Zerreissen eines Metalldrahtes Licht- und Wärmeerscheinungen zu beobachten sind.

Damit ist nunmehr der Satz bewiesen, dass im Innern der Körper eine Arbeit vor sich geht, und zugleich ist auch die absurde Idee ausgeschlossen, dass die Wärme ein Stoff sei, der sich im Innern der Körper einnistet und verbirgt, um bei der Rückkehr der

früheren Verhältnisse wieder zu erscheinen. Welcher Zusammenhang zwischen der Wärme und der inneren Arbeit besteht, wollen wir jetzt weiter untersuchen, indem wir uns zu den Erscheinungen der Aenderungen der Aggregatzustände wenden.

KAPITEL X.

Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand und umgekehrt.

So oft ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen soll, so muss den Molecülen ein ziemlich bedeutendes Quantum von Arbeit mitgetheilt werden: hierbei muss sich eine Menge actueller Energie in virtuelle Energie verwandeln, die aber als actuelle Energie sofort wieder erscheint, sobald der Körper seinen ursprünglichen Zustand wieder annimmt: in derselben Weise, wie, um an einen früher ausgeführten Vergleich zu erinnern, zum Aufheben eines Gewichtes bis zu einer bestimmten Höhe eine gewisse actuelle Energie erforderlich ist, die sofort wieder gewonnen wird, wenn dasselbe wieder herabfällt.

Der flüssige Zustand der Körper selbst besteht, wie wir früher gesehen haben, darin, dass sich die einzelnen Theilchen in geschlossenen Curven bewegen, welche den Bereich der nächst benachbarten nicht überschreiten, und dass sie immer in einem solchen Abstande von einander bleiben, dass die Wirkung ihrer gegenseitigen Anziehung (worin dieselbe auch ihren Grund haben möge) den Impulsen, welche sie sich ertheilen, das Gleichgewicht hält. Weiter können wir aus der grossen Beweglichkeit der Theilchen und aus der gleichmässigen Wirkung auf das Licht schliessen, dass ihre Rotationsbewegungen nach allen Seiten hin gerichtet sind und dass die Drehungsaxen im Innern der Molecüle eine veränderliche Lage haben, dass die drehende Bewegung also um instantane Axen erfolgt. Die festen Körper unterscheiden sich daher von den flüssigen dadurch, dass 1) ihre Theilchen einander mehr genähert sind, dass 2) die Rotationsaxen in bestimmter Weise orientirt sind, dass 3) mehrere Molecüle, welche eine gleichzeitig oscillirende Gruppe

bilden, synchronistische Bewegungen ausführen, und dass 4) mehrere Theilchen durch ein gemeinsames Band zu polyëdrischen Grundformen vereinigt werden.

1. Dass die Körper im festen Zustande dichter sind als im flüssigen, ist ein fast allgemein gültiges Gesetz: nur sehr wenige Körper, die sich beim Erstarren ausdehnen, wie das Wasser, das Wismut u. a., sind hiervon ausgenommen; und bei letzterem geschieht dies aller Wahrscheinlichkeit dadurch, dass sich zwar die Räume zwischen den Molecülen zusammenziehen, dass aber dafür breitere Zwischenräume zwischen den krystallinischen Lamellen entstehen, welche manchmal sogar mit blossen Augen zu sehen sind.

2. Die Orientirung der Axen ergiebt sich daraus, dass alle festen Körper, sobald sie rein sind, wenigstens in ihren kleinsten Theilen, krystallinische Form annehmen; denn auch die, welche in grösseren Massen nicht so erscheinen und welche man daher als amorph oder glasig bezeichnet, zeigen doch immer eine gewisse regelmässige Vertheilung der Molecüle, die sie den Krystallen nahe bringt. Selbst das gewöhnliche Glas ist nicht frei von solcher krystallinischen Structur, wie man unter Anwendung von Flusssäure zeigen kann.

3. Der Synchronismus der Schwingungen mehrerer Molecüle ist eine nothwendige Folge davon, dass dieselben in einer gemeinsamen Attractionssphäre vereinigt sind, wodurch das zusammengesetzte Molecül entsteht, welches die Grundlage der festen Körper bildet; auch durch die Einwirkung auf das Licht scheint derselbe sich merklich zu machen, indem manche Mittel unfähig sind, Lichtschwingungen von gewisser Wellenlänge hindurchzulassen, und zwar nur aus dem Grunde, weil die Schwingungsdauer der letzteren mit ihrer Bewegung nicht isochron ist. Wir werden später entwickeln, dass auch die magnetischen Erscheinungen, das Entstehen der farbigen Streifen im Spectrum, wenn sich zwei Stoffe bei hoher Temperatur verbinden, wie auch die eigenthümlichen Erscheinungen bei isomorphen Körpern Beweise für jenen Synchronismus sind.

4. Die Hauptarbeit aber, welche beim Schmelzen eines festen Körpers geleistet werden muss, besteht in der Zerstörung der Bande, welche die Molecüle aneinander fesseln. Mögen dieselben nun in besonderen Principien bestehen, die von Theil zu Theil wirken und die man wohl als Attractionskräfte bezeichnet, oder mögen sie Folgen

eines Druckes sein, den ein äusseres Mittel auf die Molecüle ausübt: immer sind sie wahre Widerstände, die erst überwunden werden müssen.

Ein fester Körper kann daher nur dann in den flüssigen Zustand übergehen, wenn den Molecülen Impulse ertheilt werden, welche gross genug sind, um 1) ihre Mittelpunkte von einander zu entfernen, um 2) den Rotationsaxen verschiedene Richtungen zu ertheilen, um 3) den Synchronismus in den Oscillationen der einzelnen Gruppen zu zerstören, und um 4) die Cohäsion zu vernichten. Mithin absorbirt ein fester Körper Wärme, wenn er in den flüssigen Zustand übergeht, d. h. es muss seine innere Arbeit um ein neues Quantum vermehrt werden, welches ihm von Aussen zugeführt werden muss, und welches vollständig aufgebraucht wird um den Molecülen die zu ihrer Entfesselung nöthigen Impulse zu ertheilen und nicht mehr dahin wirken kann, dass sich die Oscillationen der Masse vergrössern: so lange als das Schmelzen dauert, wird sich daher die Temperatur nicht erhöhen, und die Arbeit der neu hinzutretenden Kraft wird nur im Lösen jener Bande bestehen.

Geht umgekehrt ein flüssiger Körper in den festen Zustand über, so muss ihm diese ganze Bewegung wieder entzogen werden. Wird ein flüssiger Körper unter seinen eigentlichen Erstarrungspunkt abgekühlt, wie dies z. B. beim Wasser möglich ist, wenn man dasselbe vor jeder Erschütterung bewahrt, so wird, wenn nun endlich die Erstarrung eintritt, der Theil, der die feste Form annimmt, die anderen Theile erwärmen: die Geschwindigkeit der Molecüle, welche also auf der einen Seite verloren geht, wird sich dem Reste mittheilen und die Temperatur der ganzen Masse bis auf den normalen Schmelzpunkt erhöhen. Der Versuch gelingt nach Dufour noch besser, wenn die erstarrende Flüssigkeit in einer anderen von gleichem specifischen Gewichte schwebt; ausser beim Wasser und anderen leichtflüssigen Stoffen sind ähnliche Beobachtungen auch bei einigen Metallen, wie Zinn und Blei, und Metalllegirungen, die man auch bis unterhalb ihres Schmelzpunktes flüssig erhalten konnte, angestellt worden. Die Wärme, welche im Augenblicke der Erstarrung frei wird, ist hierbei sehr bedeutend: sodass die Vanadinsäure, wie auch die Zirkonerde beim Erstarren zu glühen beginnt und die Arseniksäure Funken sprüht. Es könnte scheinen, als ob sich hier ein Widerspruch mit den Grundgesetze über den Ausgleich der Wärme fände, indem hierbei ein kälterer Körper dem wärmeren

noch Wärme mittheilt; allein wenn man jenes Gesetz aufstellt, so muss man immer stillschweigend voraussetzen, dass eine Aenderung des Aggregatzustandes nicht stattfindet. Die Thatsache, dass das Wasser unterhalb des Nullpunktes nur dann flüssig bleibt, wenn es sich in absoluter Ruhe befindet, und dass der geringste Anstoss es zum plötzlichen Erstarren bringt, zeigt, dass die kleinsten Theilchen vermöge ihrer Trägheit im Zustande des labilen Gleichgewichtes verharren können, dass aber, wenn dasselbe an einem Punkte gestört ist, durch die ganze Masse hindurch der normale Zustand eintreten muss. Bemerkenswerth ist hierbei noch, dass dieser Effect viel leichter durch eine vibrirende Bewegung herbeigeführt wird, als durch eine gemeinsame Bewegung der ganzen Masse. Die Grenze zwischen dem festen und flüssigen Zustand ist also nicht eine ganz bestimmte und feste, sondern sie kann je nach den Umständen nicht unbeträchtlich verschoben werden.

Um einen Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand überzuführen ist es nöthig, dass seine innere Arbeit erhöht werde, und dies geschieht dadurch, das man ihm Wärme zuführt. Die Anzahl der Calorien, die erforderlich sind, richtet sich nach der Menge des zu schmelzenden Körpers und nach der Stärke der Cohäsion: so sind bekanntlich für die Schmelzung eines Kilogrammes Eis von 0° 79 Calorien erforderlich. Ist nun der Körper in den neuen Zustand einmal übergeführt, so wird er eine andere Empfänglichkeit für die Bewegung besitzen wie zuvor, oder, mit anderen Worten, seine Wärmecapacität hat sich geändert: so ist z. B. die Wärmecapacität des Eises nur ungefähr halb so gross, als die des Wassers. Hieraus schon lässt sich vermuthen, dass die physischen Eigenschaften der Körper, und besonders der Grad ihrer Cohäsion von grossem Einflusse auf die Wärmemenge sein muss, die zur Ausdehnung und Schmelzung erforderlich ist, was durch den Versuch Bestätigung findet.

Sieht man die Aenderung des Aggregatzustandes als das Resultat einer Arbeit an, so muss die Menge der aufgebrauchten lebendigen Kraft zu der geleisteten Arbeit im directen Verhältnisse stehen; da nun die letztere bei verschiedenen Körpern, je nach der Anordnung der Molecüle und der Grösse der Cohäsion, natürlich von sehr verschiedener Grösse ist, so muss auch die Wärmemenge, die zum Schmelzen erforderlich ist, eine sehr verschiedene sein. So ist z. B. die Cohäsion des Eises bedeutend kleiner, als die des Eisens,

weshalb man auch finden muss, dass zum Schmelzen des ersteren weit weniger Wärme verbraucht wird, als für letzteres. Ausserdem muss die Temperatur jedes festen Körpers vor dem Schmelzen um eine bestimmte Anzahl Grade erhöht werden, und diese Zahl muss im directen Verhältnisse stehen mit den verschiedenen Hindernissen, auf welche die trennende Kraft stösst.

Bestimmt man nun die erwähnten Wärmemengen für gleiche Massen und wählt man den Schmelzpunkt des Eises als Nullpunkt der Temperatur, so scheinen die gefundenen Werthe mit der Grösse der Molecularkräfte, die zu überwinden sind, in keinem Zusammenhange zu stehen, und man könnte diesen Umstand wohl als Einwurf gegen die Theorie verwerthen. Allein bei genauer Ueberlegung kann man sich nicht wundern, dass man keine Uebereinstimmung findet, wenn man jene Principien zu Grunde legt: denn 1) besteht durchaus keine Beziehung zwischen dem conventionellen Nullpunkte und der absoluten Wärmemenge, die sich in einem Körper vorfindet, sondern alles deutet darauf hin, dass es unbedingt nöthig ist, die Temperaturen auf den absoluten Nullpunkt zu beziehen', der um 273° tiefer liegt; und 2) ist es nicht rationell, die Verhältnisse der Wärmemengen zu den Massen zu bestimmen, da es sich doch um die Schwingungen handelt, welche die einzelnen Molecüle ausführen können, und also der Raum zu bestimmen ist, innerhalb dessen sie sich bei den verschiedenen Temperaturen bewegen. Eher kann dieses Gesetz, das unkenntlich bleibt, wenn wir vom conventionellen Nullpunkte ausgehen und gleiche Massen zu Grunde legen, hervortreten, sobald wir die Grössen auf den absoluten Nullpunkt und gleiche Volumina beziehen. Eine ähnliche Ueberlegung hatte uns ja schon früher veranlasst, die Ausdehnungscalorien für gleiche Volumina zu berechnen, wodurch ein Zusammenhang mit den molecularen Eigenschaften ersichtlich wurde; also dürfen wir hoffen, dass dasselbe Verfahren auch für das Schmelzen zu besseren Resultaten führen wird.

Wenn man nun zunächst die Calorien der Schmelzbarkeit bestimmt, d. h. wenn man untersucht, wie viel Calorien erforderlich sind, um die Volumeneinheit der betreffenden Stoffe vom absoluten Nullpunkte bis zu der Temperatur zu erhöhen, bei welcher das Schmelzen beginnt, so findet man, dass die grösste Zahl für diejenigen Stoffe erforderlich ist, welche die grösste Zähigkeit besitzen und den grössten innern Widerstand leisten. Dasselbe zeigt sich

auch, wenn wir die Schmelzungscalorien ebenfalls für die Volumeneinheit bestimmen, d. h. wenn wir die Wärmemenge aufsuchen, welche noch erforderlich ist, um die Volumeneinheit des Stoffes aus dem festen in den flüssigen Zustand überzuführen, nachdem die Schmelzungstemperatur bereits erreicht ist.

Cantoni [1] hat diese Rechnungen und Vergleichungen ausgeführt, und er findet für folgende Stoffe die beistehenden Werthe als Zahlen der Calorien der Schmelzbarkeit:

Metalle:		Metalle:	
Eisen	1576	Quecksilber	106 [2]
Kobalt	1527	Natrium	83
Platin	1428	Kalium	46
Gold	1211		
Kupfer	1170	Metalloïde:	
Silber	770	Selen	147
Aluminium	606	Schwefel	137
Zink	469	Phosphor	105
Cadmium	295	Jod	101
Antimon	240	Brom	67
Blei	218		
Zinn	212	Zusammengesetzte Körper:	
Wismut	164	Eis	119.

Aus dieser Uebersicht geht das oben Gesagte in auffälliger Weise hervor, und wir sind wohl berechtigt, folgende Sätze aufzustellen: 1) Je fester und härter ein Körper ist, desto mehr Calorien sind nöthig, um ihn vom absoluten Nullpunkte bis zu seinem Schmelzpunkte zu bringen; 2) bei gleicher Festigkeit brauchen die homogenen und weniger krystallisirten, wie Silber und Blei, eine geringere Zahl von Calorien; und 3) die Körper verschiedener Gruppen, wie die Metalle und Metalloïde, folgen nicht demselben Gesetze.

In gleicher Weise bestimmt Cantoni [3] folgende Werthe der zur Schmelzung erforderlichen Calorien, sowie die an zweiter Stelle stehende Summe der Calorien, die nothwendig sind, um die Volumeneinheit vom absoluten Nullpunkte bis in den geschmolzenen Zustand überzuführen:

[1]) a. a. O. S.

[2]) Quecksilber schmilzt bei — 40° C. S.

[3]) a. a. O., p. 51, wo sich noch mehr Beispiele finden. S.

Metalle:

		Sa.
Silber	208,1	966
Zink	186,1	664
Wismut	123,1	285
Zinn	114,7	310
Blei	59,8	273
Quecksilber	40,9	144
Metalloïde:		
Jod	55,3	166
Brom	51,7	119
Schwefel	18,1	155
Phosphor	8,8	114

Zusammengesetzte Körper:

Salpetersaures Natron	138,6
Phosphorsaures Natron	97,0
Eis	72,7 [1])
Wachs	36,5.

Wir haben aus der Zahl der Körper, welche Cantoni erwähnt, nur einige ausgewählt, aber auch diese kurze Uebersicht wird genügen, um zu zeigen, dass die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Molecularkräfte so weit zu überwinden, dass die Körper aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand übergehen, mit dem Werthe der Cohäsion bei niedrigen Temperaturen im engen Zusammenhange stehen.

Gleichwohl ist dieser Zusammenhang nicht so einfach und evident, als man wohl wünschen möchte; allein es ist wohl zu bedenken, dass man bei den trennenden Operationen auf eine ganze Reihe von Elementen Rücksicht zu nehmen hat, die alle bei dem passiven Widerstande, der sich der Sonderung der Molecüle entgegenstellt, zur Geltung kommen; und dass diese Elemente in den verschiedenen Körpern einen verschiedenen Einfluss ausüben, sieht man daraus, dass sie bald der Härte, bald der Festigkeit, bald der Elasticität und bald der Biegsamkeit einen grössern Werth verleihen, und noch kann niemand angeben, wie das wahre Mass für jede dieser Grössen zu bestimmen ist und wie sich ihre Einwirkung auf den Zusammenhalt der Theilchen berechnen lässt. Nur von

[1]) Für die Einheit des Gewichtes beträgt der Werth 79,2. S.

einem dieser Elemente, der krystallinischen Beschaffenheit, haben wir den Einfluss erkannt, indem wir sahen, dass bei krystallinischer Structur die zur Schmelzung nöthige Wärmemenge grösser sein muss, als bei amorphem Gefüge. Ausserdem muss man auch noch der plötzlichen Aenderung des Volumen im Augenblicke des Schmelzens Rechnung tragen, indem hierzu ja auch wieder eine neue Arbeit erforderlich ist; und endlich darf man auch nicht vergessen, dass viele Körper vor dem Schmelzen in einen Uebergangszustand eintreten, in welchem sie viel weicher und geschmeidiger sind als bei niedriger Temperatur. Am bekanntesten ist dieser Zustand beim Eisen und Platin, wo er das Verfahren des Schweissens ermöglicht, doch auch bei anderen krystallinischen Metallen, wie beim Zinn, ist er, wenn auch in engeren Grenzen, vorhanden.

Alle diese molecularen Thätigkeiten können als innere Druckkräfte angesehen werden, die sich der Trennung der Molecüle widersetzen; und auch sie werden ebenso gut, wie dies von den äusseren Druckkräften experimentell nachgewiesen worden ist, im Stande sein, den Schmelzpunkt und den Gefrierpunkt verschiedener Substanzen zu verändern. So ist es Mousson gelungen, durch starken Druck den Gefrierpunkt des Wassers unter den Nullpunkt zu erniedrigen und nach ihm würde jener Punkt bei einem Druck von 10000 Atmosphären erst bei — 18° erreicht werden. Da sich nun das Wasser bis zum Nullpunkte hin und, wenn es krystallisirt, auch noch unterhalb dieses Punktes ausdehnt, so erklärt sich hieraus, warum dasselbe, wie Rumford gezeigt hat, selbst bei der niedrigsten Temperatur nicht friert, wenn es vollständig in ein Gefäss eingeschlossen ist, das sich weder ausdehnt, noch birst, und wenn es also nur auf sich selbst drücken muss. Dass sich der Gefrierpunkt des Wassers erniedrigen muss, wenn der Druck wächst, ist eine Folgerung, die sich aus der mechanischen Theorie der Wärme mit Nothwendigkeit ergiebt [1]): für diejenigen Körper dagegen, die sich beim Erstarren zusammenziehen, muss nach derselben Theorie bei wachsendem Drucke der Gefrierpunkt sich erhöhen, was durch Versuche auch bestätigt worden ist. So schmilzt z. B. der Schwefel bei einer Atmosphäre Druck bei 107°2, bei 808 Atmosphären dagegen schmilzt es erst bei 140°.

[1]) S. W. Thomson, on the dynamical theory of heat. Trans. R. Soc. Edinb. 1852, p. 274. S.

Ein anderes Verfahren einen festen Körper in flüssige Form zu bringen, besteht darin, dass man ihn in einer Flüssigkeit auflöst; auch hierbei wird Wärme absorbirt, und es ist wohl der Mühe werth sich über die Umstände, die dabei von Einfluss sind, Rechenschaft zu geben. Denn dass hierbei Wärme verbraucht wird, dafür liegt der Grund nicht allein in der Trennung der Molecüle: sondern auch dazu, dass die Theilchen des gelösten Körpers im Lösungsmittel diffundiren, sowie dass beim Mischen häufig eine Volumenänderung eintritt, ist ein gewisses Quantum Arbeit erforderlich. Versuche haben ergeben, dass um so mehr Wärme absorbirt wird, je grösser im Verhältniss die Menge der lösenden Flüssigkeit ist, und je stärker das Volumen des Gemisches zunimmt [1]). Auch wenn feste Körper gemischt werden, löst sich der eine bisweilen in dem andern auf, wobei die chemische Thätigkeit häufig zur Mitwirkung kommt; dabei wird einestheils Wärme entwickelt, durch welche die Lösung des festen Körpers beschleunigt wird, anderntheils wird aber auch beim Uebergange in den flüssigen Zustand wieder viel Wärme gebunden, sodass diese Erscheinungen ziemlich complicirt sind. Am bekanntesten sind in dieser Beziehung die Kältemischungen, wie die Mischung von Schnee und Salz u. a. m. In allen Fällen, die in der Praxis vorkommen, wird es schliesslich möglich sein anzugeben, welche Wirkung durch die lebendige Kraft der Wärme, die den Körpern mitgetheilt worden ist, geleistet wurde, aber speciell nachzuweisen, welcher Art diese Arbeiten sind, wird wohl nicht so bald gelingen.

KAPITEL XI.

Verdampfung der Flüssigkeiten und Condensation der Dämpfe.

Wird eine gewisse Menge von Wärme einer Flüssigkeit, z. B. dem Wasser, zugeführt, so erfolgt zunächst eine Erhöhung der Temperatur und gleichzeitig eine Ausdehnung, die Molecüle werden also in eine lebhaftere Oscillationsbewegung versetzt, und zugleich

[1]) S. Cantoni, a. a. O. p. 58. S.

wird der innere Druck, welcher dieselben einander nähert, überwunden. Die Wärmemenge, welche diese Veränderungen in der Einheit der Masse bewirkt und welche wir specifische Wärme nennen, besteht also aus zwei Theilen, von denen der eine erwärmt, der andere arbeitet. Vermehrt man die Menge der Wärme, so wird sich von einem gewissen Punkte an weder die Temperatur der Flüssigkeit erhöhen, noch ihr Volumen vergrössern, sondern die ganze zugeführte Wärme wird nunmehr aufgebraucht, um die Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln, d. h. es wird sowohl der innere Druck des molecularen Zusammenhanges, als auch der äussere Druck so weit überwunden, als die Molecüle sich von einander entfernen können, ohne dass sich ihr Zusammenhalt löst. Es ist also bis zu diesem Punkte dreierlei geschehen: 1) hat sich die Masse bis zu einem gewissen Grade erwärmt; 2) ist der innere Widerstand der Molecüle überwunden und die Masse hat sich ausgedehnt und 3) haben sich die Theilchen so weit von einander losgelöst, dass sich ein neuer Aggregatzustand gebildet hat. Danach also sind drei sehr verschiedene Arbeiten, welche hierbei geleistet werden, zu unterscheiden: 1) ist den Molecülen eine erhöhte Energie der Vibration mitgetheilt; 2) ist der innere Druck gehoben und 3) werden die Molecüle mit solcher Geschwindigkeit fortgeschleudert, dass sie von einander mehr oder weniger unabhängig werden.

Es ist klar, dass diese letztere Arbeit insbesondere eine sehr grosse lebendige Kraft erfordert, und daher ist die Wärmemenge, welche erforderlich ist um die flüssige Masse in Dampf zu verwandeln weit grösser, als die, welche nöthig war, um die Flüssigkeit bis zu dem Punkte zu bringen, wo dieselbe sich in Dampf verwandelt. Die Betrachtungen, welche wir bei der Besprechung des Schmelzens der festen Körper in Bezug auf die Bewegungen der Molecüle anstellten, und aus denen wir den Schluss zogen, dass wir bei der Berechnung der Wärme nicht das Gewicht, sondern das Volumen zu Grunde legen müssen, gelten in gleicher Weise auch für den Uebergang aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand. Wenn wir in diesem Falle die Calorien, die zur Verdampfung erforderlich sind, die also nach der gebräuchlichen Ausdrucksweise latent werden, nach dem Gewichte berechnen, so finden wir auch hier keinen Zusammenhang mit den physikalischen Eigenschaften; legen wir dagegen das Volumen zu Grunde, so wird der Zusammenhang sofort deutlich. Hier einige Beispiele:

	Calorien bei gleichem Volumen.	Calorien bei gleichem Gewichte.
Quecksilber . . .	988,7	77
Wasser	514,1	536
Methylalkohol . . .	200,5	261
Schwefelsäure . . .	138,0	94
Schwefel	111,8	72
Jod	88,4	23
Essigäther	86,6	105
Terpentinöl	58,8	58.

Hieraus ist ersichtlich, dass bei gleichem Volumen die dichtesten Flüssigkeiten zum Verdampfen die meisten Calorien gebrauchen, während sich aus den Angaben für gleiches Gewicht kein Gesetz ergiebt; ferner stehen diese Zahlen im Zusammenhange mit der Cohäsion und nicht mit der grösseren oder geringeren Klebrigkeit der Stoffe. Dass die Wärmecapacität der Dämpfe im Allgemeinen etwa um die Hälfte geringer ist als die der Flüssigkeiten, aus denen sie sich entwickelt haben [1]), wurde schon früher erwähnt; noch stärker aber tritt dieses Gesetz hervor, wenn wir die Capacitäten für gleiche Volumina mit einander vergleichen.

Wird eine Flüssigkeit in Dampf verwandelt, so ist die verbrauchte Wärmemenge in zwei Theile zu zerlegen: der eine Theil erhöht die Temperatur, der andere bewirkt die Verdampfung; da nun der letztere nur dazu dient, die Molecüle von einander zu entfernen, so muss er im Allgemeinen in den Flüssigkeiten grösser erscheinen, deren Cohäsion grösser ist. Drückt man die Arbeit, die bei der Verdampfung geleistet wird, in Meterkilogrammen aus, so findet man für Quecksilber 385, für Wasser 318 und für Methylalkohol 78 $^{m.k.}$; die Arbeit, die bei der einfachen Ausdehnung derselben Stoffe geleistet wird, beträgt dagegen 79, 59 und 16 $^{m.k.}$, während die relativen Werthe für ihre Cohäsion 1,92, 1,00 und 0,39 sind. Bemerkenswerth ist, dass für die verschiedenen Flüssigkeiten die Werthe der erwähnten zwei Arten von Arbeit nahezu in demselben Verhältnisse 5 : 1 stehen, welches nur mit der Temperatur ein wenig wächst [2]). Ausser den angeführten Beispielen findet man noch viele andere in Cantoni's wichtigem Werke.

[1]) Cantoni, a. a. O., p. 73. S.

[2]) Cantoni, a. a. O., p. 78. S.

Um die Molecüle eines flüssigen Körpers von einander zu trennen braucht man in der Regel eine viel grössere Wärmemenge, als um denselben Stoff, wenn er in fester Form ist, zu schmelzen; und hieraus folgt, dass die Energien, mit denen sich die Molecüle eines und desselben Stoffes anziehen, wenn er sich das eine Mal im flüssigen, das andere Mal im luftförmigen Zustande befindet, viel bedeutendere Unterschiede zeigen, als wenn wir den festen und den flüssigen Zustand in Vergleich stellen: eine Thatsache, die wir schon aus anderen Gründen annehmen konnten. Durch welches Gesetz diese beiden verschiedenen Wärmemengen für einen und denselben Stoff mit einander zusammenhängen, ist bis jetzt noch nicht aufgefunden worden; und noch weniger kennt man die Beziehungen zwischen verschiedenartigen Körpern: so gebraucht man z. B. um ein Liter Wasser in Dampf zu verwandeln eine Wärmemenge, durch welche ein ebenso grosses Volumen Eisen geschmolzen werden kann.

Ist die flüssige Masse in Dampf verwandelt und führt man ihr neue Wärme zu, so wird diese vollständig dazu verwendet, den erzeugten Dampf auszudehnen und seine Temperatur zu erhöhen, wenn nämlich seine Molecüle wirklich von jedem Einflusse der molecularen Thätigkeit ebenso frei sind, wie dies bei den permanenten Gasen der Fall ist. Doch auch, wenn Letzteres nicht im vollkommenen Masse stattfinden sollte, so wird die Arbeit die zur Temperaturerhöhung erforderlich ist, doch bei weitem jetzt nicht mehr so schwierig sein, als beim flüssigen Zustande, in welchem jedes Molecül durch die benachbarten eingeengt wurde, und man wird daher weniger Wärme dazu gebrauchen: und hieraus erklärt es sich sehr einfach, dass für einen und denselben Stoff die specifische Wärme oder die Wärmecapacität von verschiedener Grösse ist, je nachdem sich derselbe im flüssigen oder luftförmigen Zustande befindet.

Wüssten wir, worin jene inneren Arbeiten bestehen, so würde es leicht sein, den Sprachgebrauch mehr zu präcisiren; allein bei unserer Unkenntniss ihrer wahren Natur müssen wir uns auf einige allgemeine Ausdrücke beschränken: wir können nur sagen, dass die Anziehungskräfte überwunden und die Mittelpunkte der Sphären der Thätigkeit von einander entfernt werden müssen. Dass diese Ausdrucksweise eine unbestimmte ist, sieht Jeder: allein in derselben Weise spricht man ja auch von der Arbeit, die nothwendig ist um die Schwerkraft zu überwinden, deren Natur man zwar noch nicht kennt, die man aber doch der Rechnung unterwerfen kann. So wie

man z. B. finden kann, welche Kraft nöthig sein würde um den Mond von der Erde loszureissen und ihn in eine freie Bahn im Weltenraume einzulenken, so können wir auch jene inneren Arbeiten unserem Studium unterwerfen und ihre Wirkungen berechnen, auch ohne dass wir ihre wahre Natur kennen. Eine Vorstellung von einigen dieser Arbeiten können wir uns dabei, trotz dieser Unkenntniss, immer machen, wenn wir nur einige ähnliche physikalische Erscheinungen zum Vergleiche heranziehen. So können wir uns jetzt über einige Erscheinungen Rechenschaft geben, die zwar seit langer Zeit bekannt sind, die aber von den Physikern durch conventionelle Ausdrücke bezeichnet wurden, welche nach der neueren Ansicht der Dinge keinen Sinn mehr haben. Dahin gehören z. B. die Erscheinungen der latenten Wärme, welche beim Uebergang in einen anderen Aggregatzustand aufgebraucht wird oder sich frei entwickelt (s. Kapitel I, 4. Gesetz), wie auch die damit zusammenhängende Aenderung der specifischen Wärme bei jener Verwandlung des Zustandes.

Man hat diese Thatsachen durch Herbeiziehung der Molecularkräfte zu erklären versucht: viel verständlicher aber werden sie, wenn wir die oben entwickelten Principien auf sie anwenden. Nehmen wir z. B. an, dass ein Dampf, der seinem Condensationspunkte schon nahe ist, nun seine luftförmige Beschaffenheit noch vollständig aufgiebt, so kann dies nur geschehen, wenn seine Molecüle die Geschwindigkeit der freien Wurfbewegung verlieren, um in die engbegrenzten Bahnen einzulenken, die, wie wir gesagt haben, den Flüssigkeiten eigenthümlich sind. Dabei muss der Masse die lebendige Kraft des Wurfes entzogen werden, so dass ihr nur noch die beschränkte oscillatorische Bewegung verbleibt. In der Wirklichkeit geschieht dies nun ganz allmählich, nur ein Theil der Molecüle verliert zur Zeit seine Wurfgeschwindigkeit, und diese Kraft dient dazu um einestheils die benachbarten Körper zu erwärmen, anderntheils die Condensation des übrigen Dampfes zu hindern; in beiden Beziehungen aber belebt sie von Neuem die Oscillationsbewegung der Umgebung, welche durch irgend welche äussere Ursachen an Intensität verloren hatte. So theilt sich in dem alltäglichen, in der Industrie häufig eintretenden Falle, dass sich Dampf in einer kalten Flüssigkeit condensirt, die Bewegung, die seine Masse verliert, einem gewissen Gewichte des Wassers mit und erwärmt dasselbe; oder die Bewegung verliert sich langsam durch die umgebenden Körper hin-

durch, welche sie erwärmt oder wenigstens vor Abkühlung schützt. Verdichtet sich eine Dampfmasse, die frei in der Luft schwebt, zu kleinen Tropfen, die eine Wolke bilden, so wird Wärme entwickelt, deren lebendige Kraft die ganze eingeschlossene Luftmasse erwärmt und zugleich dem Reste der Dampfmasse seine Elasticität erhält. Mit einem Wort, wir haben auch hier augenscheinlich den Fall, dass die fortschreitende Bewegung eines Theiles der Masse in schwingende Bewegung eines anderen Theiles verwandelt wurde.

Da die Molecüle beim Uebergange aus dem luftförmigen in den flüssigen Zustand ihre fortschreitende Geschwindigkeit verloren haben und gezwungen sind in engen Bahnen zu schwingen, so ist es klar, dass, wenn sie wieder mit derselben Stärke gegen einander stossen sollen, es nicht genügt ihnen dieselbe lebendige Kraft mitzutheilen, die vorher hinreichend war um sie mit gleicher Intensität schwingen zu lassen; sondern diese lebendige Kraft muss bei den beiden Aggregatzuständen einen sehr verschiedenen Werth haben, weil in den beiden Zuständen verschiedene Wege zu durchlaufen sind, und weil die Zahl der Stösse, welche den Molecülen ertheilt werden müssen, nicht dieselbe ist. Wird daher der Masse von Aussen her eine gewisse lebendige Kraft mitgetheilt, so wird die Wirkung eine verschiedene sein müssen, je nachdem sich der Stoff im flüssigen oder luftförmigen Zustande befindet: dieselbe Kraft, welche in einem Gas lineare Bewegungen der Molecüle von bestimmter Grösse und damit eine gewisse Verstärkung der Stösse beim Zusammentreffen hervorbringt, kann in der Flüssigkeit nicht gleichen Effect bewirken, weil bei der grossen Annäherung der Molecüle die Stösse viel häufiger erfolgen und der innere Druck viel grösser ist. Folglich sind in beiden Fällen verschiedene Mengen von lebendiger Kraft erforderlich, wenn dem Körper ein gleicher Zuwachs an Wärmeschwingungen oder, was dasselbe ist, an Temperatur mitgetheilt werden soll: mit der Aenderung des Aggregatzustandes ändert sich also auch die Wärmecapacität. Der Versuch hat diesen Satz allenthalben bestätigt und man hat durchaus gefunden, dass die Zahl der Calorien für die Temperaturerhöhung eines Stoffes in flüssiger Form grösser ist, als wenn derselbe Stoff die Luftform angenommen hat: setzt man diese Zahl für flüssiges Wasser = 1, so beträgt sie für Wasserdampf nur 0,475. Auch für andere Stoffe findet man, dass die Zahl für die Dampfform etwa halb so

gross ist, als für die flüssige Form [1]). Und zu diesem Resultate muss man gelangen, auch ohne irgend welche Hypothese anderer Art zu Hilfe zu nehmen, wie z. B. die Aenderungen der Rotationsbewegungen, den Einfluss des umgebenden Mittels oder der Molecularkräfte: alle diese Gründe üben sicherlich, wie wir später sehen werden, einen grossen Einfluss auf die Wärmecapacität aus, jetzt aber wollen wir sie noch von der Betrachtung ausschliessen.

Wollen wir nun umgekehrt eine Flüssigkeit in den luftförmigen Zustand versetzen, so müssen wir ihr offenbar so viel Kraft zuführen, dass vor allen Dingen die benachbarten Molecüle so weit von einander getrennt werden, dass zwischen ihnen eine Strasse frei wird, auf welcher das eine aus der Sphäre des andern gelangen kann. Wenn die inneren Druckkräfte wirklich so ungeheure Werthe besitzen, als Hirn für dieselben angiebt, nämlich 32000 Atmosphären für Wasser bei 100° und 46000 bei 60°, so lässt sich daraus schliessen, welche Arbeit nöthig ist um sie zu überwinden und die Flüssigkeit zu verdampfen. Weiter muss aber auch den Molecülen ein Impuls gegeben werden, damit sie ihren Weg weiter verfolgen, wenn die Verwandlung in Dampf vor sich gegangen ist. Hierbei sind nun noch folgende zwei Fälle zu unterscheiden: entweder 1) dem Körper wird von Aussen her nicht immer wieder aus irgend welcher Quelle Wärme zugeführt, oder 2) es ist ein beständiger Wärmezufluss vorhanden.

Im ersten Falle muss der Theil der Flüssigkeit, welcher sich in Dampf verwandelt, von dem Reste oder von den benachbarten Körpern die Bewegungsgrösse erhalten, die für seinen neuen Zustand erforderlich ist, er absorbirt daher Wärme von allen Körpern, die mit ihm in Berührung kommen, auch von dem Theile der Flüssigkeit, der sich nicht verflüchtigt. Dies findet bei der Verdunstung bei niedriger Temperatur statt, bei welcher immer ein Sinken des Wärmegrades zu beobachten ist, und hierauf gründet sich die Anwendung des August'schen Psychrometers. Wendet man sehr flüchtige Stoffe an, so ist die Abkühlung eine sehr starke: wenn z. B. solche Stoffe, die für gewöhnlich gasförmig sind, wie schwefelige Säure, Kohlensäure, Stikoxydulgas u. a., durch sehr starken Druck in flüssige Form gebracht sind und sich nach Entfernung des Druckes

[1]) S. Cantoni, Relazioni tra alcune proprietà termiche ed altre proprietà fisiche dei corpi. Pavia 1862. p. 73. S.

wieder verflüchtigen, so absorbiren sie so viel Wärme, dass dadurch die stärksten Temperaturerniedrigungen hervorgebracht werden; die Temperatur, die sich hierbei ergibt, kann man auf — 70°, bei Kohlensäure sogar auf — 100° schätzen. Die Abkühlung ist dabei so plötzlich, dass man mit schwefeliger Säure Wasser in einem glühenden Platintiegel zum Erstarren bringen kann: bei den Versuchen mit Kohlensäure ist ein Theil derselben durch die Verdampfung des anderen Theiles in feste Form verwandelt worden. (Thilorier.) Diese Erscheinung findet in Folgendem ihre Erklärung: da sich die lebendige Kraft im Inneren der Gesammtmasse nach unserer Theorie nicht ändern kann, und da derjenige Theil, der sich verflüchtigt, einen enormen Theil jener Kraft in Anspruch nimmt indem das Volumen desselben mindestens 400 Mal so gross wird), so muss nothwendig der Rückstand einen Theil der lebendigen Kraft verlieren, so dass er in die feste Aggregatsform übergeht. Auch ist es nicht unmöglich, dass der ungeheure Druck, den der in Gas verwandelte Theil der Flüssigkeit auf den nicht verwandelten, wenn auch nur für einen Moment, ausübt, mit dazu beiträgt, dass der feste Zustand eintritt, indem ein solcher mechanischer Effect die Annäherung der Theilchen unterstützen muss: derartige Druckkräfte sind durchaus nicht zu vernachlässigen, wenn sie gleich in freier Luft ausgeübt werden. So zertrümmern comprimirte Schiessbaumwolle und Nitroglycerin die Gegenstände, auf denen sie liegen auch dann, wenn die Explosion in freier Luft erfolgt, indem die ungeheure Geschwindigkeit, mit der die Molecüle zerbersten, der Luft nicht Zeit lässt, sich zurückzuziehen und die Explosion wie im geschlossenen Raume erfolgt.

Gehen wir nun zu dem zweiten Fall über, in welchem dem Körper von Aussen immer neue Wärme zugeführt wird, so wird von dem Augenblicke an, in welchem die Dampfentwickelung vollständig frei erfolgt und die Spannung des Dampfes dem auf der Flüssigkeit lastenden Drucke gleichkommt, alle neu hinzugeführte Wärme die Temperatur nicht weiter erhöhen; die den Molecülen ertheilte Kraft verstärkt nicht mehr die Stösse, die sie sich gegenseitig ertheilen, vergrössert auch nicht das Volumen der Flüssigkeit, sondern wird vollständig verbraucht um die Theile, die sich in Gas oder Dampf[1])

[1]) Wir sagen Gas oder Dampf, weil zwischen beiden Zuständen kein wesentlicher Unterschied besteht: denn unter Dampf versteht man ein Gas,

verwandeln, fortzuschleudern und ihnen eine entsprechende Geschwindigkeit zu ertheilen.

An dieser Stelle wollen wir noch einmal auf das bereits erwähnte Paradoxon näher eingehen, dass nämlich in manchen Fällen ein kälterer Körper an den wärmeren doch Wärme abgiebt, was den von Clausius und Thomson aufgestellten Grundsätzen der Wärmetheorie zu widersprechen scheint. Die verdampfende Masse besitzt ja von Anfang an eine gewisse lebendige Kraft, welche im Augenblicke der Verdampfung noch wachsen muss, und zwar auf Kosten der zurückbleibenden kälteren Flüssigkeit, der sie die Wärme entzieht. Es ist dieser Fall dem früher erwähnten ganz analog, in welchem eine Flüssigkeit erstarrte, nachdem sie unterhalb ihres Gefrierpunktes abgekühlt war: erniedrigt man z. B. die Temperatur des Wassers auf — 5° und bringt man dann mit demselben einen Körper, dessen Temperatur — 2° beträgt, in Berührung, so erstarrt das Wasser und die Temperatur der ganzen Masse erhöht sich auf 0°: der kältere Körper hat also bei der Aenderung des Aggregatzustandes an den wärmeren noch Wärme abgegeben. Man kann daher folgende Einwendungen machen: wenn die Temperatur von der Geschwindigkeit abhängt, mit der die Molecüle hin- und herschwingen, wie ist es dann möglich, dass ein Molecül, das geringere Geschwindigkeit besitzt, einem andern mit grösserer Geschwindigkeit begabten noch Bewegung mittheile? Die Antwort hierauf gestaltet sich sehr einfach, wenn man annimmt, dass sich die Molecüle in Rotationsbewegung befinden: denn wenn sich in diesem Falle die Rotationsbewegung in Translationsbewegung verwandelt, so können, wie Poinsot bewiesen hat, die Körper mit grösserer Geschwindigkeit von einander abprallen, als mit welcher sie auf einander gestossen sind. Man hat diese Erscheinung auch dadurch erklären wollen, dass man die Molecüle einfach als elastische Körper ansah: dann würde die Erklärung aber nur unter der Bedingung genügen, dass der Körper, welcher die Kraft mittheilt, dem anderen an Masse überlegen sei, da er demselben eine Geschwindigkeit ertheilt, die seine eigene übertrifft; und diese Annahme ist durchaus nicht in allen Fällen statthaft. Wir sehen also, dass die Erklärung durch die Elasticität in diesen Fällen nicht ausreicht, wogegen die von uns

dessen Condensationspunkt ziemlich hoch liegt, unter Gas aber einen Dampf, für welchen dieser Punkt sehr tief liegt. S.

vorausgesetzte Theorie auch hier noch ihre Geltung behält. Die Geschwindigkeit mit welcher die Molecüle, besonders der festen und flüssigen Körper, rotiren, ist sicherlich enorm, wie auch ihre lebendige Kraft, und wir nehmen keinen Anstoss sie mit den Schwungrädern und Windflügeln unserer Maschinen zu vergleichen. Findet nun ein Zusammenstoss statt, dann verwandelt sich die Rotationsbewegung in fortschreitende Bewegung und kann dadurch Arbeit verrichten; und hierbei wirkt die Trägheit wie eine Springfeder, welche actuelle Arbeit in potentielle, actuelle Energie in potentielle verwandelt; es ist also, als hätte sie die Kraft gleichsam aufgespeichert.

Der Grad der Spannung und der Temperatur, bei welchem sich eine Flüssigkeit in Dampf verwandelt, hängt, ausser von dem Drucke, der auf ihr lastet, auch noch von manchen anderen Ursachen ab; so wirkt die Berührung mit festen Körpern manchmal in höchst auffälliger Weise. An den Grenzflächen dieser Körper bleiben nämlich immer gewisse Stellen, an denen der Zusammenhang unterbrochen ist, sei es, dass sich kleine Luftblasen angehängt haben, oder dass die Benetzung nicht eine vollständige ist: an diesen Punkten ist nun die Bewegung der Molecüle sehr erleichtert; und auch die Rauhheiten an der festen Oberfläche wirken gleichsam, als wären sie mit abstossender Kraft begabt. Wenn Wassertropfen in einer Flüssigkeit von gleichem specifischen Gewichte schweben, so kann man diese Flüssigkeit über den Siedepunkt des Wassers hinaus erwärmen, ohne dass sich die Tropfen in Dampf verwandeln: sobald man aber dieses Gleichgewicht an irgend einem Punkte stört, sobald man z. B. einen solchen Tropfen mit einem Metalldrahte berührt, so erfolgt die Verdampfung ganz plötzlich durch die ganze Masse und dabei erniedrigt sich die Temperatur (Dufour). Aus diesem Versuche folgt, dass die Verdampfung nicht ganz streng bei einem festen Temperaturgrade erfolgt, wie man gewöhnlich annimmt, sondern dass die Grenze zwischen dem flüssigen und gasförmigen Zustande eine nicht ganz bestimmte ist. Wenn also die Sonderung der Molecüle irgend wie gehindert ist, so erfolgt die Verdampfung nicht, trotz der Erhöhung der Temperatur: kann sich dagegen die Verdampfung frei entwickeln, so steigt die Temperatur nicht, trotzdem dass neue Wärme zufliesst.

Bei jedem Gas muss man daher zwei Wärmemengen unterscheiden: diejenige Menge, welche ihm die Spannung ertheilt, und

die man als Calorien der Elasticität bezeichnen kann; und diejenige, welche zur Trennung der Molecüle erforderlich ist, und die man Calorien der Verdampfung nennen kann. Nur die erstere Menge kann bei den Dampfmaschinen ausgenutzt werden, die andere ist zum grossen Theil verloren, denn nur ein Theil derselben wird im Condensator wieder zurückerstattet und dazu verbraucht das Wasser im Voraus zu wärmen. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, hat man den Gebrauch der Heissluftmaschinen empfohlen, doch andere noch grössere Nachtheile haben deren allgemeinere Anwendung in den Fällen verhindert, wo eine grössere mechanische Kraft erzeugt werden soll.

Nicht allein der Punkt, wo der flüssige Zustand in den luftförmigen übergeht, ist in gleicher Weise wie der Erstarrungspunkt je nach dem äusseren Drucke, der Leitungsfähigkeit und dem Einflusse anderer Ursachen, veränderlich, sondern es ist auch ein Zwischenzustand zwischen der flüssigen und luftförmigen Form beobachtet worden, und zwar zuerst von Cagniard la Tour. Auch Andrews hat gezeigt, dass, wenn Kohlensäure bei sehr niedriger Temperatur durch starken Druck in flüssige Form verwandelt, und wenn dann die Temperatur auf — 31° erhöht wurde, die Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und dem Gas allmählich verschwindet, und dass nunmehr die ganze Röhre, mit einer gasförmigen, scheinbar homogenen Masse erfüllt war. Noch bei 74 Athmosphären Druck zeigte jenes Gas eine starke Verminderung seines Volumen, und durch die geringe Vergrösserung des Druckes um nur noch zwei Atmosphären wurde es weiter auf die Hälfte des Raumes zusammengedrängt, worauf es aber nur langsam dem Drucke weiter nachgab. Dies findet in der Nähe des Condensationspunktes bei — 31° statt: bei höheren Temperaturen dagegen folgt das Gas dem Mariotte'schen Gesetze, bis der Druck auf etwa 104 Atmosphären gestiegen ist. Ebenso zeigen sich beim Stickoxydulgas, der Chlorwasserstoffsäure dem Ammoniak u. a. m. ähnliche Uebergangsstufen zwischen dem flüssigen und luftförmigen Zustande. (Moigno, les Mondes, 16. Dec. 1869, p. 688.)[1])

[1]) Andrews nimmt an, dass bei — 31°, welche Temperatur er als den kritischen Punkt der Kohlensäure bezeichnet, und bei höheren Temperaturen das specifische Gewicht der tropfbar flüssigen Säure so gering wird wie das des luftförmigen Körpers, so dass eine räumliche Trennung infolge des Herabsinkens des specifisch schwereren Körpers zwischen den beiden

Hieraus folgt, dass der Uebergang zwischen diesen beiden Zuständen nicht ein absolut plötzlicher ist, und dass derselbe nicht sprungweise geschieht, sondern dass ein und dasselbe Gesetz alle diese Verwandlungen beherrscht: und deshalb ist es auch nicht unmöglich, dass es einst gelingt die Ausdehnungen der festen, flüssigen und gasförmigen Körper durch eine einzige Formel auszudrücken und die Grenzen des Ueberganges in einen andern Aggregatzustand festzustellen.

Das Gesetz, welches alle diese Erscheinungen in Verbindung setzt, scheint dasselbe zu sein, das wir schon früher, als von Hirn herrührend, erwähnten. Nach diesem Physiker bestehen ausser dem äusseren Drucke noch innere Kräfte, welche entsprechenden Druckkräften gleichgesetzt werden können: die Wärme hat also ausser jenem äusseren Drucke P auch noch diesen inneren Druck R zu überwinden, wenn sie die Körper ausdehnt.

Auch das Volumen V, das ein Körper einnimmt, besteht in Wirklichkeit aus dem Volumen ψ, das die Molecüle für sich in Anspruch nehmen, und dem Raume U, der sich zwischen ihnen befindet, so dass $V = U + \psi$ ist. Das einzige Veränderliche ist hierbei die Grösse U oder der zwischen den Molecülen befindliche Raum. Rechnen wir nun noch die Temperaturen vom absoluten Nullpunkte an, so lässt sich das wahre Gesetz der Ausdehnung durch die bereits früher erwähnte Formel darstellen:

$$\frac{P + R}{P_0 + R_0} = \frac{V_0 - \psi}{V - \psi} \cdot \frac{T}{T_0}.$$

Die Grösse R, welche für die Gase sehr gering ist, wird bei den dichten Dämpfen schon recht merklich: so beträgt sie beim Wasserdampfe bei einem Drucke von 32 Atmosphären schon 7,5 Atmosphären und beim Schwefelkohlenstoff bei 25 Atmosphären nicht weniger als 18 Atmosphären. Nach dem flüssigen Zustande hin wächst diese Grösse R ungeheuer, sodass sie, wie schon erwähnt, für Wasser bei 100° gleich 32000 Atmosphären ist.

Diese inneren Widerstände lassen sich mit Hilfe der Formel (a)

Aggregatzuständen nicht mehr stattfindet. Auch für andere luftförmige Körper sind die kritischen Punkte bestimmt worden und es scheint ganz passend zu sein, wenn wir dieselben nach Andrews' Vorschlage als Gase bezeichneten, so lange sie sich oberhalb ihres kritischen Punktes befinden, als Dämpfe aber, wenn sie unter denselben herabsinken. Sch.

leicht berechnen, wenn man nur die absolute Wärmecapacität K der Körper kennt, und dabei zeigt sich, wie schnell sich diese Werthe mit der Wärme ändern. Wir wollen nur einige derselben für Wasser und für Schwefelkohlenstoff mittheilen. Es beträgt dieser Widerstand für

	Wasser	Schwefelkohlenstoff
bei 50°	55167	5937
„ 100	32754	5185
„ 150	23099	4021
„ 200	18347	3341

Man sieht, welchen ungeheuren Widerstand die Wärme überwinden muss, um diese Flüssigkeiten in Dampf zu verwandeln.

Hätte man die Werthe von R mit absoluter Genauigkeit bestimmt, so würde man aus obiger Formel die Grösse von ψ oder den Minimalwerth, den das Volumen eines Körpers annehmen kann, berechnen können. Allein, da die für die Bestimmung von R beobachteten Daten zu unsicher sind, so darf man kaum hoffen, jene Grösse mit einiger Sicherheit zu ermitteln; gleichwohl hat Hirn dadurch, dass er je zwei der obigen Grössen combinirte, für ψ die Werthe 0,9823, 0,9655 und 0,9335 gefunden, welche so wenig differiren, dass man daraus schliessen kann, dass auch die Bestimmung von R nicht zu fehlerhaft ist.

Aus diesen scharfsinnigen Untersuchungen lassen sich zwei wichtige Folgerungen ziehen: 1) dass sich die Volumenänderungen aller Körper durch einen einzigen Ausdehnungscoëfficienten ausdrücken lassen, und 2) dass das Volumen der Körper einen endlichen Werth besitzt, unter den es nicht herabsinken kann, dass mithin die Atome eine gewisse wirkliche Ausdehnung besitzen.

Die erste dieser Folgerungen scheint zwar den gewöhnlichen Annahmen zu widersprechen: allein diese Schwierigkeit wird geringer, wenn man bedenkt, dass die Kraft R in den Gasen verschwindend klein ist, und dass daher sowohl der äussere Druck, als auch die Temperaturerhöhung zu ihrer vollen Wirkung gelangen können; bei festen und flüssigen Körpern ist dagegen zum äusseren Drucke ein sehr grosser Werth R hinzuzufügen, weshalb eine Aenderung des äusseren Druckes einen kaum merklichen Effect hervorbringt.

Noch bemerkenswerther ist die zweite Folgerung, dass die Atome eines festen Körpers schon an und für sich einen Raum einnehmen,

der im Verhältniss zum Gesammtvolumen ziemlich bedeutend ist: nehmen wir als Beispiel einen Körper, der sich ziemlich stark zusammenzieht, das Eis, so finden wir das geringste Volumen, auf welches dasselbe erniedrigt werden kann, ungefähr = 0,986: das Volumen beim absoluten Nullpunkte ist also nur um etwa $^1/_{70}$ kleiner, als beim conventionellen Nullpunkte.

Der Werth ψ zeigt nicht allein, dass die Atome wirkliche physische Körper von bestimmtem Volumen sind, sondern dass die Vorstellungen von der Porosität der Körper, nach welcher die Zwischenräume zwischen den Molecülen einen grösseren Raum einnehmen sollten als die Molecüle selbst, wesentliche Aenderungen erfahren müssen. Dies sind ungefähr die Resultate, zu denen Hirn gelangt ist; doch auch an Widerspruch gegen seine Theorie hat es nicht gefehlt: so darf man z. B. die Babinet'sche Annahme nicht unbeachtet lassen, dass möglicherweise der absolute Nullpunkt weit unterhalb des Punktes liegt, den man gewöhnlich annimmt. Ohne dass wir uns zu Richtern über so kühne Speculationen aufwerfen wollen, müssen wir doch zugeben, dass der gewöhnliche Ausdehnungscoëfficient der Gase sicher nicht derselbe bleiben kann, wenn ihr Volumen sich so weit vermindert hat, dass der Einfluss der anziehenden Kräfte R merklich wird; und aus diesem Grunde muss man wohl annehmen, dass das Volumen der Körper geringer ist und der Nullpunkt tiefer liegt, als aus der zu Grunde gelegten Theorie folgt. Auf alle Fälle ist der Werth ψ, wenn auch zunächst nur als analytische Grösse für die Formeln, in Rechnung zu ziehen, der Praxis aber fällt die Aufgabe zu, seine wahre Bedeutung aufzufinden.

Dass in diesen schwierigen Dingen das letzte Wort noch nicht gesprochen ist, sehen wir daraus, dass jene Verhältnisse und Coëfficienten sich für die chemischen Verbindungen ändern; doch auch hierfür lässt sich wohl der Grund auffinden; denn bei einem zusammengesetzten Körper muss wohl die Wirkung, die zwei Elemente, aus denen ein Molecül zusammengesetzt ist, auf einander ausüben, von dem Effecte sehr verschieden sein, den ein zusammengesetztes Molecül auf ein anderes hervorbringt. Die Anziehung, die im Wasser ein Wasserstoffatom auf ein Sauerstoffatom ausübt, muss eine andere sein, als diejenige, mit welcher zwei Wassermolecüle auf einander wirken. Da wir aber vor der Hand weder die Natur, noch den Ursprung dieser Kräfte kennen, so können wir über diesen Gegenstand noch keine bestimmte Meinung fassen: nur so viel können

wir wohl vermuthen, dass in jedem zusammengesetzten Körper die Rotationsbewegungen und Trägheitsmomente der einzelnen Molecüle sich wahrscheinlich geändert haben, und deshalb dürfen wir auch nicht die Gesetze der molecularen Anziehung und Cohäsion homogener Körper mit denen der chemischen Verwandtschaft heterogener Stoffe verwechseln.

Ueber diese Beziehungen werden die Auseinandersetzungen der nächsten Kapitel einige Aufklärung gewähren: jetzt aber wollen wir die Resultate der vorhergehenden Abschnitte noch einmal zusammenfassen und zum Abschlusse bringen.

Wir wiederholen, dass, wenn sich die Temperatur eines Körpers durch eine bestimmte Wärmemenge Q, die ihm zugeführt wird, von t_0 auf t_1 erhöht und zugleich sein Volumen von V_0 bis V_1 ausdehnt, immer die Gleichung (a) besteht:

$$Q = K(t_1 - t_0) + A\varDelta + Ap(V_1 - V_0).$$

Alle Grössen dieser Gleichung sind entweder bekannt oder lassen sich direct in jedem Versuche bestimmen, ausser K und $\varDelta$. Da sich nun $\varDelta$ wohl nicht gut auffinden lässt, so wird man vorziehen, K zu bestimmen, indem uns die Auffindung dieser Grösse wenigstens für eine Reihe von Stoffen, für welche $\varDelta$ verschwindet, möglich ist: wir meinen die permanenten Gase.

Zwar wissen wir nicht, ob K für alle Körper denselben Werth besitzt, es wird sich diese Frage aber durch die Prüfung der Erscheinungen bei den Körpern selbst ergeben, bei welcher Untersuchung wir den Weg verfolgen wollen, den Hirn in der zweiten Auflage seiner Thermodynamik eingeschlagen hat.

Bezeichnet man die gewöhnliche Wärmecapacität mit Q′ und den Ausdehnungscoëfficient für 1° und die Gewichtseinheit des Gases beim Drucke p mit α, so ist, wenn man $\varDelta = 0$ setzt,

$$K = Q' - A\,p\,\alpha.$$

Nun ist für den Druck einer Atmosphäre $p = 10333^{\text{Kgr.}}$, wenn man den Quadratmeter als Flächenmass nimmt; setzt man weiter das Gewicht eines Kubikmeters des Gases $= \delta$, so wird

$$K = Q' - \frac{\alpha}{\delta} \cdot \frac{10333}{425}.$$

Nach Regnault hat man nun für die permanenten Gase folgende Werthe:

	Q'	δ k	α
Sauerstoff	0,21751	1, 4298	0,00367
Stickstoff	0,2438	1, 2562	0,00367
Wasserstoff	3,409	0, 08958	0,0036613,

woraus sich der Werth von K ergiebt:

Sauerstoff	0,1551
Stickstoff	0,1712
Wasserstoff	2,4153.

Wenn diese Zahlen durchaus keine Uebereinstimmung zeigen, so ist dies nicht zu verwundern: denn wir haben Massen zu Grunde gelegt, welche mit den natürlichen Eigenschaften der Gase in durchaus keiner Beziehung stehen. Ganz anders gestaltet sich dagegen die Vergleichung, wenn wir die Werthe für diejenigen Mengen der Gase berechnen, welche allein hier von Bedeutung sein können, nämlich für die chemischen Aequivalente. Setzt man für Sauerstoff die Aequivalentzahl $P = 100$, so beträgt dieselbe nach der älteren Bezeichnungsweise für Wasserstoff 12,5 und für Stickstoff 175; allein, da manche Thatsachen es wahrscheinlich machen, dass im Wasser zwei Atome Wasserstoff mit einem Atome Sauerstoff verbunden sind,[1]) so würde die Zahl für den Sauerstoff zu verdoppeln sein: statt dessen wollen wir aber die beiden andern Zahlen halbiren und nunmehr die Producte K.P bilden, wodurch wir folgende Werthe finden:

	K.P
Sauerstoff	15,510
Stickstoff	15,069
Wasserstoff	15,096.

Der Unterschied dieser Zahlen ist so gering, dass man wohl vermuthen kann, dass er von der Vernachlässigung der inneren Arbeit herrühren mag, welche wohl auch bei den Gasen nicht in aller Strenge der Null gleichgesetzt werden darf. Die grösste Abweichung zeigt der Sauerstoff, der aber auch in anderer Beziehung mancherlei Eigenthümlichkeiten zeigt: wir wollen nur daran erinnern, dass derselbe z. B. in einer besonderen Modification auftreten kann, nämlich als Ozon, dessen Wesen durchaus noch nicht

[1]) Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass diese Ansicht jetzt in der Chemie allgemeine Annahme gefunden hat. Sch.

ergründet ist. Es scheint also, dass wir für diese Körper das Product K.P constant = 15,1 setzen dürfen, d. h. dass die absolute Wärmecapacität zum Atomgewichte im umgekehrten Verhältniss steht.

Wendet man nun den so gefundenen Werth auch auf die festen und flüssigen Körper an, für welche die äussere Arbeit wegen der geringen Volumenänderung vernachlässigt werden darf, setzt man also auch bei ihnen die absolute Wärmecapacität K gleich jener Constanten dividirt durch die Aequivalentzahl, und zieht man diese Grösse von der gewöhnlichen Wärmecapacität Q' ab, so findet man den Werth der inneren Arbeit $A\Delta$. Die Werthe dieser Grössen für einige Körper (nach Hirn) sind folgende:

	Innere Arbeit $A\Delta$	Gew. Wärme-capacität Q'	Absol. Wärme-capacität K
Eisen	0,0696	0,1137	0,0441
Nickel	0,0681	0,1086	0,0405
Kobalt	0,0663	0,1069	0,0406
Zink	0,0583	0,0955	0,0372
Kupfer	0,0573	0,0951	0,0378
Selen	0,0534	0,0837	0,0303
Arsen	0,0495	0,0814	0,0319
Palladium	0,0336	0,0592	0,0256
Zinn	0,0358	0,0562	0,0204
Cadmium	0,0352	0,0567	0,0215
Silber	0,0348	0,0571	0,0223
Antimon	0,0312	0,0511	0,0199
Gold	0,0202	0,0324	0,0122
Platin	0,0202	0,0324	0,0122
Blei	0,0196	0,0314	0,0118
Wismut	0,0198	0,0308	0,0110
Wasser	0,6000	1,0000	0.4000
Kalisalpeter	0,1204	0,2587	0,1383

Man sieht aus dieser Uebersicht, dass bei den chemisch einfachen festen Körpern mit merkwürdiger Uebereinstimmung etwa $^3/_5$ der zugeführten Wärme auf die innere Arbeit verwendet werden, und nur der Rest zur Temperaturerhöhung dient; und auch für das Wasser finden wir dasselbe Gesetz; für andere zusammengesetzte Körper aber gestaltet sich das Verhältniss wesentlich anders.

KAPITEL XII.

Chemische Zersetzung durch die Wärme. Absolute Wärmemenge in den Gasen.

An das Schmelzen fester und das Verdampfen flüssiger Körper schliesst sich nun noch eine dritte trennende Wirkung, welche die Wärme hervorbringt, indem dieselbe durch ihre Bewegung nicht blos den Zusammenhalt der physikalischen Molecüle löst, sondern auch eine Zersetzung der chemisch verbundenen Atome herbeiführen kann; und hieraus scheint zu folgen, wie wir beiläufig bemerken wollen, dass zwischen der physikalischen und chemischen Anziehung ein eigentlicher Unterschied nicht stattfindet.

Die Wärme ist eines der kräftigsten analytischen Mittel, welche die Chemie besitzt, und gegen ihren Einfluss hält keine chemische Verbindung Stand: bei geringeren Temperaturgraden verlieren die Salze ihr Krystallwasser, bei höheren erfolgt die Reduction der Oxyde, die Calcination, die Zersetzung der Salze u. s. w. Corpora non agunt nisi soluta, ist ein altes Sprüchwort in der Chemie, und die Wärme galt ja für das kräftigste Lösungsmittel: und auch nach de neueren Anschauungsweise versetzt ja die Wärme die einzelnen Theilchen in eine freiere Beweglichkeit, durch welche sie in den Stand gesetzt werden der chemischen Verwandtschaft Folge zu leisten. Die engsten Verbindungen zersetzt man gewöhnlich dadurch, dass man einen Körper hinzufügt, der zu dem einen Bestandtheil grössere Verwandtschaft besitzt; allein einige derselben lassen sich, auch ohne dass ein neuer Stoff hinzutritt, durch ziemlich einfache Mittel lösen: so lässt sich das Wasser bei Temperaturen zersetzen, die bedeutend niedriger sind, als die Temperatur, bei welcher es sich aus seinen Bestandtheilen gewöhnlich bildet. Auch in diesem Falle verschwindet eine bestimmte Wärmemenge oder wird latent, gerade wie es bei der Verdampfung geschieht. Soll dieser Versuch gelingen, so ist es nöthig, dass das eine der Elemente, in welche sich das Wasser zersetzt, sofort vom andern getrennt wird, so lange beide noch heiss sind, denn sonst verbinden sie sich sogleich wieder, sobald sie aus dem Raume heraustreten, in welchem sie getrennt waren. So zersetzt sich der Wasserdampf nicht, wenn er durch ein Platinrohr geleitet wird, das bis nahe an seinen Schmelzpunkt erhitzt ist; trifft er dagegen auf einen Körper, der einen der beiden gasförmigen Be-

standtheile des Wassers aufsaugt, wie Bleioxyd oder Stoffe, die den Sauerstoff absorbiren, so kann er sich schon bei verhältnissmässig niedriger Temperatur zersetzen. Hierbei ist es nicht einmal nöthig, dass die Stoffe in einer Weise wirken, die man als Folge der chemischen Verwandtschaft ansehen kann; es genügt schon die rein mechanische Thätigkeit der Filtration, und in der That gelingt der Versuch bei Anwendung einer porösen Röhre, welche dem Wasserstoffe gestattet sich vermöge seiner Expansion vom Sauerstoffe zu trennen.

Dieses schöne Experiment wurde in neuerer Zeit durch H. C. Deville in folgender Weise angestellt (Fig. 10): in einer weiteren Röhre aus glasirtem Porzellane befindet sich eine engere a b aus

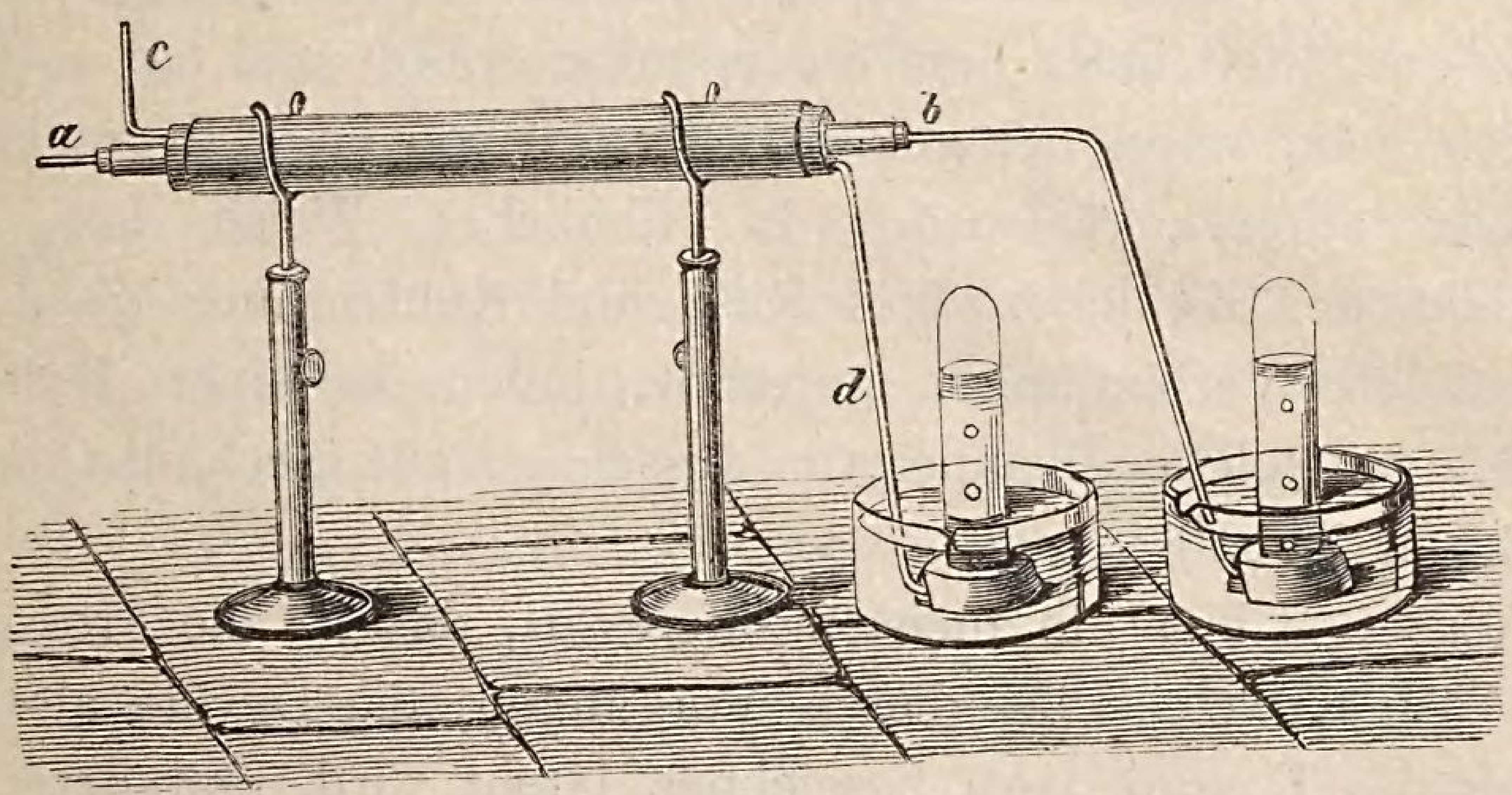


Fig. 10.

poröser Masse, welche, ebenso wie die erstere, an beiden Enden durch Pfropfen geschlossen ist, die den Ein- und Austritt der Gase gestatten. Leitet man nun bei gewöhnlicher Temperatur in die innere Röhre bei a Wasserstoffgas, in den ringförmigen Raum aber bei c Kohlensäure, so findet man, wenn man die Gase beim Austritte untersucht, dass die Kohlensäure aus der inneren Röhre bei b, der Wasserstoff aus dem äusseren Raume bei d ausströmt: die Gase haben also vermöge ihrer Diffusion oder der Endosmose die poröse Scheidewand in entgegengesetztem Sinne durchwandert.

Erhitzt man dagegen die Röhren auf 1100 bis 1300°, während man durch die innere Röhre Wasserdampf, durch die äussere Kohlensäure leitet, so kann man aus der äusseren Röhre an Stelle der Kohlensäure eine explosive Mischung aus Wasserstoff, Kohlenoxyd-

gas und Wasserdampf sammeln: der Wasserdampf, welcher durch die Scheidewand ebenso wie vor der Erwärmung hindurchgedrungen ist, hat die Kohlensäure zersetzt, aus der inneren Röhre aber strömt Kohlensäure und der Sauerstoff, der von der Zersetzung des Wassers übrig geblieben ist.

Hierbei bewirkt also die poröse Scheidewand die Trennung der Gase und entzieht sie ihrer gegenseitigen Einwirkung: hätte man dagegen den Wasserdampf durch eine weissglühende Platinröhre geleitet, so würden sich die Gase, die sich in der Röhre trennen, im kälteren Theile und beim Austritte sofort wieder zu Wasser verbinden. Die Temperatur, bei welcher sich in Deville's Versuche das Wasser zersetzt, ist bedeutend niedriger als die, bei welcher sich Wasser bildet: eine Erscheinung, die der Verdampfung analog ist, welche auch weit unter dem Siedepunkte erfolgt und um so schneller vor sich geht, wenn der gebildete Dampf von einer hygroskopischen Substanz aufgesaugt wird. In ähnlicher Weise hat derselbe Chemiker aus Kohlenoxydgas Russ und Kohlensäure gebildet und noch andere Verbindungen getrennt, indem er einen Bestandtheil, der sich bei solcher Temperatur ausschied, auf mechanischem Wege absorbiren liess.[1])

Was uns hier am meisten interessirt, das ist die grosse Menge von Wärme, welche bei diesen Vorgängen, die Deville als Erscheinungen der Dissocition bezeichnet, latent wird, und deren Grösse sich in folgender Weise schätzen lässt[2]).

Aus den Versuchen von Debray und Deville geht hervor, dass die Temperatur des Wasserstoffes, der in Sauerstoffgas verbrennt, etwas höher als 2500° ist[3]). Bei dieser Temperatur besitzen die Gase ein Volumen, das ungefähr zehnmal so gross ist, als bei 0°, und man sieht, dass der Wasserdampf einer Temperatur, welche sein Volumen verzehnfacht, nicht mehr widerstehen kann, sondern sich zersetzt. Um nun das Gas auf die Temperatur von 2500° zu erhöhen, ist, vorausgesetzt dass die Wärmecapacität dieselbe bleibt, eine Wärmemenge von $637 + (2500 - 100)\,0{,}435 = 1680$ Calorien erforderlich, wobei 637 die Calorien sind, die Wasser von 0° in

[1]) Andere Beispiele siehe Mondes, 16. Febr. 1865. S.

[2]) S. Comptes Rendus, 2. Febr. 1863. T. LVI, p. 199. S.

[3]) In neuerer Zeit giebt zwar Deville diese Temperatur zu 2800° an, doch werden die Resultate durch Annahme dieser Zahl nur wenig geändert. S.

Dampf verwandeln und die Temperatur desselben auf 100° erhöhen, der Rest aber die Calorien bedeutet, welche die Temperatur von 100° auf 2500° bringen. Dies ist die Wärmemenge, welche die Gase, ehe sie sich von einander trennen, höchstens besitzen können.

Fragen wir nun, welche Wärmemenge sich entwickelt, wenn sie sich wieder vereinigen, so findet sich dieselbe nach den Experimenten von Favre und Silbermann gleich 3833 Calorien. Nun muss aber dieselbe Wärme, die sich bei der Vereinigung der beiden Gase entwickelt, dem Wasser, das sich gebildet hat, wieder zugeführt werden, damit es sich wieder in die beiden Gase zerlegt und damit die Elasticität derselben wieder hergestellt wird. Wenn nun die zugefügte Wärme nicht zum Theil latent würde, so würden die 3833 Calorien den Wasserdampf und die aus ihm sich bildenden Gase auf eine Temperatur von 6800° erheben, eine ungeheure Zahl, welche die beobachtete Grösse weit übersteigt. Dass die Temperatur viel niedriger ist, beweist, dass zur Trennung der Elemente eine Arbeit verbraucht wird, deren Grösse sich durch die Differenz der gefundenen Zahlen 3833 — 1680 = 2153 Calorien ergiebt.

Diese ungeheure Menge von 2153 Calorien wird verwendet um die Gase in einen Zustand zu versetzen, in welchem ihre zurückstossende Kraft bis zu solcher Stärke anwächst, dass sie die ihnen ertheilte Wurfbewegung nicht wieder aufgeben und sich zu Wasser vereinigen können. Dieser Gegenstand wird noch deutlicher, wenn wir ihn mit den Erscheinungen vergleichen, welche bei der Verdampfung des siedenden Wassers erfolgen. Letztere erfolgt bei 100° bei gewöhnlichem Luftdruck, doch sind zu dieser Verdampfung 536 Calorien nöthig, welche die Masse um weitere 536° erwärmen würden, wenn sie nicht in den Zustand übergingen, den man als latente Wärme bezeichnet; so aber erhöht sich bei der Verdampfung die Temperatur nicht über 100°. In gleicher Weise erfolgt die Dissociation ungefähr bei 2500°, während derselben muss aber der Masse eine Wärmemenge zugeführt werden, welche ihre Temperatur auf 6800° erhöhen könnte: also auch hier ist Wärme gebunden worden. Ausserdem hat derselbe Chemiker bewiesen, dass bei der gewöhnlichen Verbrennung des Wasserstoffes mit Sauerstoff die Hälfte des Gases die Verbindung gar nicht eingeht, dass also ein Theil der Masse durch die Wärme, welche der andere Theil aussendet, im freien Zustande erhalten bleibt. Man sieht die auffällige Aehn-

lichkeit dieser Erscheinung mit den oben erwähnten Vorgängen, dass bei der Condensation der Dämpfe, der Theil, der sich verdichtet, so viel Wärme aussendet, dass er den anderen Theil vor der Verdichtung schützt.

Die Erscheinungen der Dissociation treten auch gewöhnlich bei der elektrischen Thätigkeit auf, bei welcher die sehr hohe Temperatur der Rheophoren der Kette oder des Funkens, welche aber nur in einem sehr kleinen Raume eine bedeutende Höhe erreicht, die Zersetzung bewirkt. Man hat hier in der That einen der Fälle, in denen man nach Belieben die eine oder andere Wirkung, nämlich Erwärmung oder Zersetzung herbeiführen kann. Später werden wir hierüber ausführlicher sprechen, jetzt wollen wir aber nur einen einzelnen Fall hervorheben. Nimmt man als Pole einer Bunsen'schen Batterie von 50 Elementen zwei feine Platindrähte und nähert man dieselben einander unter Wasser, so erhält man ein sehr lebhaftes, durchaus regelmässiges elektrisches Licht und zugleich erwärmt sich das Wasser sehr schnell bis zum Sieden ohne sich merklich zu zersetzen: vergrössert man ein wenig die eingetauchten Rheophoren, so beginnt bei einem bestimmten Punkte eine sehr reichliche Zersetzung, dagegen lässt die Erwärmung bald nach. Die zwei Erscheinungen sind also hier auf einander gefolgt und haben sich gegenseitig ersetzt; im ersten Falle wurde die Kraft des Stromes zur Erwärmung, im andern zur Zersetzung verbraucht, und doch ist es ein und dieselbe Energie, welche diese verschiedenen Arbeiten verrichtet.

Es scheint, als ob die Zersetzung hier bei niedriger Temperatur erfolgte, dem ist aber nicht so: dieselbe geht in einer unendlich dünnen Schicht, die den Flächen anliegt, vor sich und dort muss die Temperatur sehr hoch sein; da aber die Gase durch die elektrische Anziehung von einander getrennt werden, so kühlen sie sich schnell ab durch die Berührung mit dem Mittel, in welchem sie sich befinden. Aus dieser unvollständigen Abkühlung lässt sich vielleicht die Erscheinung erklären, dass die Gase in statu nascendi so leicht Verbindungen eingehen. Doch hiervon später.

Mit wenigen Worten wollen wir hier wiederholen, welche Menge von Arbeit oder welche lebendige Kraft in Form von Wärme in den Gasen, welche in dem Verhältnisse gemischt sind, wie sie Wasser bilden, aufgespeichert ist: dieselbe ist als eine disponible Potenz anzusehen, welche zur actuellen Potenz wird, sobald der zündende

Funke an sie herantritt, und dann in einem Augenblicke alle Arbeit zurückerstattet. Nach diesen Ueberlegungen werden wir uns über die bekannten Detonationen bei der Entzündung des Knallgases nicht mehr wundern.

Nehmen wir eine Masse dieses Gases an, welche genügt, um 1 Kgr. Eis zu bilden, und rechnen wir hierbei immer vom conventionellen Nullpunkte an, obgleich der absolute Nullpunkt der richtigere Ausgangspunkt sein würde, so würden zunächst erforderlich sein,

um dieses Eis zu schmelzen	79,0 Calorien
um das Wasser bei 0° zu verdampfen .	606,5 „
da aber bei der Verdampfung bei t° noch 0,305 t Calorien mehr erforderlich sind, so braucht man, um den Dampf in gesättigten Dampf von 100° zu verwandeln weitere	30,5 „
Wird dieser Dampf auf 2500° erwärmt und als Capacität 0,44 genommen, so giebt dies weitere	1056,0 „
Hierzu endlich die Calorien der Dissociation	2153,0 „
giebt in Summa	3925,0 Calorien.

Wird Wasser dadurch gebildet, dass Wasserstoff im Sauerstoff verbrennt, so hat die directe Beobachtung ergeben,

dass dabei sich entwickeln	3833 Calorien
hierzu die Calorien, die bei der Eisbildung frei werden	79 „
so hat man als Resultat	3912 Calorien,

eine Zahl, deren Uebereinstimmung mit der vorhergehenden sehr gut ist.

Da nun eine Calorie der Arbeit von 425 Meterkilogrammen gleichkommt, so wird bei der Explosion von 1 Kilogramm Knallgas eine Arbeit von 1674336 m. k. oder 23381 Pferdekräften geleistet. Von dieser ungeheuren Grösse können wir uns kaum eine Vorstellung machen: wollte man sie mechanisch anwenden um Wärme zu erzeugen, so würde man so viel in jeder Secunde hervorbringen

können, als sich bei der Bildung von einem Liter Wasser entwickelt. Sie kommt der Energie der Wärme gleich, welche von einem Quadratfusse der Sonnenoberfläche in Zeit von 5 Minuten ausgesendet wird. Welche ungeheure Kraft muss sich daher bei der Bildung des Oceans entwickelt haben! Unsere Vorstellung kann dem nicht mehr folgen: aber diese Thatsachen eröffnen uns einen Weg zum Verständnisse einiger wichtiger Vorgänge in der Natur.

Unter diesen Erscheinungen nimmt die Constanz der Temperatur der Sonne einen hervorragenden Platz ein; denn die Temperatur dieses Körpers hat sich in den historischen Zeiten bis zu unseren Tagen nicht um eine Grösse geändert, die für unsere Messungen merklich ist. Allein wie kann sich diese Temperatur auf gleicher Höhe erhalten und wie werden die enormen Verluste wieder ersetzt, die sie in jedem Augenblick erleidet?

Welche Hypothese wir annehmen mögen, so werden wir doch schliesslich zugeben müssen, dass die Sonne mit der Zeit an Wärme verliert, dass die Abkühlung aber so langsam erfolgt, dass wir sie nicht bemerken können. Wäre die Sonne nur ein brennender fester Körper, so würde sie nur noch wenige Jahrhunderte im jetzigen Zustande verbleiben können: ist dagegen ihr Stoff gasförmig und in seine Elemente aufgelöst, so kann die Aussendung der Wärme noch sehr lange andauern, ohne dass sich ihre Temperatur verringert. Man schätzt die thermische Kraft der Sonne auf 77232 Pferdekräfte für jeden Quadratmeter der Oberfläche: verwandeln sich aber drei Kilogramm Wasserstoff- und Sauerstoffgas in Wasser, so entwickeln sie 71173 Pferdekräfte, eine Zahl, die der vorigen ziemlich nahe kommt; es genügt also, dass jene Menge in der Secunde in die feste Form übergehe, um den nöthigen Effect herbeizuführen. Gehen jene Stoffe aber nur eine chemische Verbindung ein, ohne sich zu verdichten, so werden doch für jedes Kilogramm 2153 Calorien frei, so dass ungefähr die doppelte Menge genügt, um die Verluste zu decken; und hierbei wird der gebildete Dampf noch eine sehr hohe Temperatur beibehalten. Da die Sonne eine Masse von 2 Quintillionen, also $2 . 10^{30}$ Kilogrammen besitzt, so lässt sich leicht berechnen, wie viel Millionen von Jahren vergehen würden, ehe diese Masse, wenn sie in ihre Elemente aufgelöst ist, beim Eingehen der chemischen Verbindung aufhört Wärme auszusenden, ohne dass ihre Temperatur sinkt: man findet mehr als $2 . 10^{20} = 200$ Trillionen von Jahrhunderten!

Wir wollen hier beiläufig erwähnen, dass die Wärme, welche von einem Quadratdecimeter der Sonne ausgesendet wird, und welche etwa 772 Pferdekräften gleichgesetzt werden kann, an Energie etwa der Kraft unserer Schiffsmaschinen gleichkommt; die Temperatur aber ist 15 bis 45mal so hoch, als die unserer kräftigsten Locomotiven. Um nun eine Energie von 4000 Pferdekräften zu entwickeln, brauchte die grosse Maschine des Friedland, welche sich auf der Ausstellung zu Paris im Jahre 1867 befand, acht grosse Oefen, die beständig in Brand gehalten wurden; dagegen würde die Wärme, welche 5 Quadratdecimeter der Sonnenoberfläche ausstrahlen, schon genügen um diese Maschine in Gang zu erhalten!

Neuere Beobachtungen haben gezeigt, dass sich auf der Sonne Wasserstoffgas in sehr reichlicher Menge vorfindet, indem dasselbe eine Schicht bildet, deren Höhe etwa dem Durchmesser der Erde gleichkommt; da dieser Stoff sich im freien Zustande befindet, so dürfte die Annahme, dass seine Verbrennung eine Quelle der Sonnenwärme ist, nicht ein blosses Hirngespinnst sein. Doch liefert diese Quelle wohl nur den kleineren Theil der Energie, welche die Sonnenwärme unterhält: der Hauptheil aber entsteht durch die Verdichtung, welche durch die Schwerkraft bewirkt wird, wie Hall bewiesen hat und wie wir schon früher andeuteten.

Wir sehen hieraus, wie gering unsere Kräfte sind gegenüber den im Grossen in der Natur wirkenden, und wie schwach die mechanischen Agentien sind, die uns zu Gebote stehen, verglichen mit den Kräften, die von Atom zu Atom wirken, wofür wir später noch viele Beispiele kennen lernen werden. Daher dürfen wir uns nicht wundern, wenn wir finden, dass für die lebendigen Kräfte, welche die Atome der Gase treiben, und ebenso für die Geschwindigkeiten derselben ungeheuer grosse Werthe anzunehmen sind, und dass in ihnen eine enorme Arbeit aufgespeichert ist. Wenn nun diese Geschwindigkeiten für den einen oder anderen Stoff dadurch verloren gehen, dass derselbe eine chemische Verbindung eingeht, so erscheinen sie doch wieder, indem sie den Körpern in der Umgebung und den Producten der Verbindung mitgetheilt werden, und bewirken die mechanischen Effecte, welche man als Explosionen bezeichnet. Bei diesen chemischen Vorgängen muss ein grosser Theil der fortschreitenden Bewegung der einfachen Gase den Molecülen der Verbindung in Form von drehender Bewegung erhalten bleiben: denn man kann nicht annehmen, dass der Zusammenstoss bei der Ver-

einigung der Theilchen in solcher Weise erfolge, dass jede drehende Bewegung vermieden würde, und dies ist auch erforderlich, damit die Massen in der festen oder flüssigen Form vermöge ihrer Rotation noch wie elastische Körper auf einander wirken können.

Aus der Thatsache, dass chemische Zersetzung durch die Wärme bewirkt wird, lässt sich schliessen, dass eine schon früher angedeutete Theorie nicht ganz widersinnig ist, dass es nämlich, wenn man die molecularen Trennungen immer weiter treiben könnte, nicht unmöglich wäre die Atome, aus denen die sogenannten Elemente oder chemisch einfachen Körper bestehen, in wirklich einfache, die Materie constituirende Atome aufzulösen, und dass man, wie wir sehen werden, allen Grund hat zu glauben, dass die Verschiedenheit der Stoffe nur dadurch entsteht, dass sich diese wahren Atome in verschiedener Weise gruppiren. Der Stoff, zu dem man auf diese Weise gelangt, wird ausserordentlich fein sein und seine physikalischen Eigenschaften werden sich vollständig von denen unterscheiden, die wir an den gewöhnlichen Körpern beobachten und studiren können, welche alle eine ausserordentlich complicirte Structur besitzen. Seit den Zeiten Galilei's und Newton's sind diese Vorstellungen von der endlichen Löslichkeit aller Körper immer wieder aufgetaucht: und diese Hypothese gestattet auch in möglichst einfacher Weise die Kette zu verlängern, welche die Ereignisse, denen man erst auf der Spur ist, mit der Reihe von Thatsachen, die wir kennen, verbindet. Um jenem Stoffe, den Manche als dynamische Atome, Andere als Molecüle μ, noch Andere als Igniculi oder Corpusculi bezeichneten, einen Namen zu geben, werden wir uns des Ausdruckes: verdünnte Materie bedienen.

Weiter ist es uns durchaus nicht unwahrscheinlich, dass diese Materie mit dem Mittel, das alles erfüllt und die Ausbreitung des Lichtes möglich macht, also mit dem Aether identisch ist; wenigstens giebt es wohl keine Hypothese, durch welche sich alle Erscheinungen und alle Meinungen der Philosophen besser in Einklang bringen lassen. Danach besteht also der Aether aus den primitiven Atomen der gewöhnlichen Materie. Wohl mag die Einfachheit der Atome des Aethers von der Einfachheit, die wir den Stoffen beilegen, die wir als die leichtesten und am meisten gelösten ansehen, noch durch viele Zwischenglieder getrennt sein: allein ein Ende muss diese Kette doch schliesslich besitzen; ob es uns freilich je gelingen wird die gewöhnliche Materie in diesen Zustand

überzuführen, das ist sehr fraglich. Jene verdünnte Materie muss sich überall vorfinden und die complexen Atome der gewöhnlichen Materie müssen auch immer bei ihrer Bewegung auf sie treffen; sie reissen dieselbe in ihre drehende Bewegung mit fort und bilden aus ihr Wirbel, welche sie umgeben. Dass der Einfluss dieser Wirbel und der Druck, der durch diese Mittel erzeugt wird, nicht übergangen werden dürfen, wenn man die Theorie der Constitution der Körper aufstellen will, ist klar. Noch ist die bisher entwickelte Theorie dieser Constitution sehr unvollständig, wir können sie aber auch erst ausbauen, wenn wir die Beweise entwickelt haben, welche uns auf die Annahme jenes Mittels führen. Die Kraft, welche nöthig ist um zwei Molecüle von einander zu trennen, die sich in einer gemeinsamen drehenden Bewegung befinden und nur durch die Wirkung der Trägheit wie die Theile fester Körper mit einander verbunden sind, muss dabei sehr verschieden sein von der, welche erforderlich ist um einen äusseren Druck zu überwinden, um z. B. die Magdeburger Halbkugeln, die einen luftleeren Raum umschliessen, von einander zu reissen. Wie wir uns jenen Druck zu denken haben, wurde schon angedeutet, weiter auf den Gegenstand einzugehen wird aber erst am Platze sein, wenn wir zuvor noch andere Erscheinungen einer Untersuchung unterworfen haben.

Wenn wir diese neue Anschauungsweise über die molecularen Kräfte weiter verfolgen werden, so wird auch die Einführung mancher neuer Ausdrücke sich nöthig machen: vor der Hand aber wollen wir, um Neuerungen und weitläufige Auseinandersetzungen zu vermeiden, die alten Ausdrücke noch ferner anwenden, so wenig sie der jetzigen dynamischen Theorie entsprechen. Wir befolgen hierbei den Rath Grove's, indem wir uns dieser Ausdrücke als conventioneller Bezeichnungen für die verschiedenen Zustände und Wirkungsarten einer und derselben Kraft, nämlich der Bewegung, bedienen. Nicht anders machen es ja die Astronomen, welche auch eine grosse Anzahl von Ausdrücken beibehalten, welche von der scheinbaren Bewegung hergenommen sind, obgleich dieselbe gar nicht existirt [1]).

[1]) „Selbst dann, wenn wir einmal dahin geführt würden, dass wir die Vorstellung von verschiedenen Kräften aufgeben, dass wir alle Arten von Kräften nur als verschiedene Aeusserungen einer und derselben Kraft ansehen, und dass wir sie endgültig auf Bewegungen zurückführen, wird es uns gleichwohl gestattet sein, gewisse conventionelle Ausdrücke zu gebrauchen, um die verschiedenen Wirkungsarten dieser einen Kraft zu bezeichnen, welche alle anderen umfasst.“ Grove, Corrélat. des forces phys., p. 329. Paris 1856. S.

KAPITEL XIII.

Austausch der Wärme zwischen den Körpern von verschiedener Natur; Gesetz der chemischen Aequivalente.

Mischt man zwei ungleiche Massen eines und desselben Stoffes, welche verschiedene Temperatur besitzen, so nimmt die Mischung im Allgemeinen eine Temperatur an, die man findet, wenn man aus den beiden Temperaturen das Mittel mit Rücksicht auf die Gewichte berechnet. Diese Erscheinung stimmt genau mit dem Ausgleich der Bewegung zwischen nicht elastischen Körpern überein, wie man nach der mechanischen Wärmelehre wohl erwarten durfte; doch haben wir hinzugefügt, dass dies nur im Allgemeinen geschieht, denn da die Wärmecapacität bei steigender Temperatur ein wenig abnimmt, so ist dieses Gesetz nicht absolut genau. Werden dagegen verschiedenartige Stoffe gemischt, so muss man die Wärmecapacität mit in Rechnung ziehen: die Energie, die ein Körper vermöge seiner Wärme besitzt, enthält also als Factoren die Masse, die Temperatur, die Wärmecapacität und das mechanische Aequivalent der Wärme[1]). Dass die Wärmecapacität mit den übrigen Eigenschaften der Stoffe, besonders mit der physikalischen Wirkung der Molecularkräfte im innigen Zusammenhange steht, haben wir bereits früher gesehen, wenn es uns auch noch nicht gelang, diesen Zusammenhang als bestimmtes Gesetz zu formuliren: es erübrigt nun noch zu fragen, ob sich auch eine Beziehung zwischen der Wärmecapacität und den chemischen Eigenschaften auffinden lasse. Vergleicht man zu diesem Zwecke die specifische Wärme eines Körpers C mit seinem Atomgewicht P, so findet man, wie zuerst Dulong und Petit gezeigt haben, dass jenes einen grössten Werth hat, wenn dieses ein Minimum ist, sodass das Product CP nahezu von constanter Grösse ist. Es ist nöthig, dieses Gesetz etwas genauer zu prüfen und festzusetzen, innerhalb welcher Grenzen es gültig ist: denn durch dieses Gesetz kann vielleicht später die ganze Chemie in das Gebiet der Mechanik hereingezogen werden.

Die Untersuchungen der genannten Chemiker erstreckten sich zunächst nur auf feste Metalle, doch auch für die anderen einfachen und eine grosse Anzahl zusammengesetzter Körper ist das Gesetz,

[1]) Rankine, Arch. physique, Vol. V, p. 68. S.

das sie fanden, mit folgenden Einschränkungen im Allgemeinen bestätigt worden: 1) ist das Product CP nicht für alle Elemente genau dasselbe, sondern hat für verschiedene Gruppen und Kategorien verschiedene Werthe; 2) in den zusammengesetzten Körpern ist das Resultat nahezu gleich der Summe der Producte für die einzelnen Bestandtheile und 3) übt der Aggregatzustand, in dem sich der Körper befindet, einen Einfluss aus.

Die Untersuchungen über die Metalle gaben für diese Körper einen Mittelwerth CP = 3.13[1]), von welchem die einzelnen Werthe um Grössen abweichen, welche im Vergleich mit der Verschiedenheit der Factoren des Productes nur klein sind: denn während die specifische Wärme die Werthe von 1 bis 30,5 durchläuft, schwankt das Product CP nur zwischen den Grenzen 2,97 für Aluminium und 3,32 für Natrium. Für die nichtmetallischen festen Elemente, Bor, Phosphor, Silicium, Jod, weicht das Product auch nicht stark ab, denn es ist zwischen die Grenzen 2,86 und 3,43 eingeschlossen; doch wenn man bedenkt, welch ein verschiedenes Gefüge die Molecüle dieser Körper besitzen, so lässt sich begreifen, dass die Bestimmung der Grössen, von denen jenes Product abhängt, sehr schwierig wird. Berücksichtigen wir die praktischen Schwierigkeiten bei den Experimenten und die grosse Zahl der Daten, welche zur Bestimmung jenes Werthes zu beobachten sind, so muss man eher über die nahe Uebereinstimmung staunen, als dass man sich über die Unterschiede wundert.

Für die flüssigen Elemente beträgt das Product 3,69, also nicht viel mehr als für die festen; und für die gasförmigen, Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff, 3,87, wobei die Aequivalentzahl des Sauerstoff = 16 gesetzt ist[2]). Jene Abänderung der alten Aequivalentzahl 8 des Sauerstoffs in 16 macht auch die Verdoppelung der Aequivalentzahlen einiger anderer Elemente nothwendig, wenn das

[1]) Wir wollen Cantoni's Zahlen mittheilen, bei welchen die Aequivalentzahl des Wasserstoffs = 1 gesetzt ist; setzt man dagegen das Atomgewicht des Sauerstoffs = 100, so sind die obigen Werthe mit 12,5 zu multipliciren, wodurch jenes Mittel nahe = 40 wird. S.

An den vom Verfasser angegebenen Zahlenwerthen wollen wir nichts ändern, wiewohl für viele Aequivalentzahlen, entsprechend dem O = 16, etzt allgemein doppelt so grosse Werthe angenommen werden. Sch.

[2]) Von hier an nehmen wir die Angaben Hirn's aus einem Grunde den wir alsbald mittheilen werden. S.

Gesetz deutlich hervortreten soll: es ist nicht schwer einzusehen, dass diese Aenderung dadurch nothwendig wird, dass von manchen Stoffen nicht einfache Atome, wie man früher annahm, sondern Doppelatome Verbindungen mit anderen Körpern eingehen. Nehmen wir die Aequivalentzahlen bezüglich des Sauerstoffes, so sind die Zahlen für mehrere Elemente zu halbiren. Beim Sauerstoff kennen wir einen allotropen Zustand, das Ozon, das nach Meissner's Theorie dadurch entsteht, dass sich der Stoff im Verhältnisse 2 : 3 verdichtet hat, so dass, wenn beim gewöhnlichen Sauerstoffe ein Molecül aus zwei Atomen besteht, dasselbe beim Ozon aus drei Atomen zusammengesetzt ist: es scheint uns also hierin ein Beispiel der weiteren Trennung der Atome gegeben, und so hat es keine Schwierigkeiten, ähnliche Vorgänge auch bei anderen Elementen vorauszusetzen: eine Annahme, für welche wir bald andere Beispiele kennen lernen werden.

Grosse Abweichungen von dem Gesetze zeigen sich beim Chlor und Brom für welche das Product $CP = 4{,}310$ und $4{,}316$ bestimmt wurde; doch darf uns dies nicht Wunder nehmen, da die elementare Constitution jener Stoffe noch sehr wenig bekannt ist[1]).

Wie erwähnt, lässt sich dieses Gesetz auch auf zusammengesetzte Körper anwenden, und es zeigt sich, dass die specifische Wärme der Verbindung nahezu gleich ist der Summe der specifischen Wärme der einfachen Atome, aus denen sie bestehen, vorausgesetzt, dass man die Zahl der Atome mit in Rechnung zieht, welche sich zu einem Molecül verbinden. Das Product ändert sich ein wenig von einer Verbindung zur andern, für ein und dieselbe Säure und für Verbindungen, die nach derselben chemischen Formel zusammengesetzt sind, aber bleibt es nahezu constant. Hier einige Beispiele, in denen R das Radical bedeutet:

[1]) F. W. Clarke vermuthet, dass bei einigen Stoffen eine bessere Uebereinstimmung erzielt werden dürfte, wenn man die specifische Wärme für entsprechende Zustände derselben, z. B. für ihre Schmelztemperaturen, und nicht für gleiche Wärmegrade bestimmte. (Amer. Journ. of Sc., Ser. 3, Vol. VIII, No. 47. Nov. 1874, p. 340.) Auch Friedr. Weber hat durch Versuche festgestellt, dass einige dieser Verschiedenheiten verschwinden, wenn man die specifische Wärme für höhere Temperaturen bestimmt, da jene Grösse bei manchen Körpern mit wachsender Temperatur sehr veränderlich ist. So wird die specifische Wärme für Diamant und Graphit bei der Rothgluth fast gleich, und aus ihr lässt sich eine Atomwärme ableiten,

Substanz:	Formel:	CP:
Sulfide	RS	2 × 2,98
Chloride. . . .	RCl_2	3 × 3,12
Chlorüre . . .	R_2Cl_2	4 × 3,17
Oxydule . . .	RO	2 × 2,76
Oxyde	R_2O_3	5 × 2,72
Säuren	RO_2	3 × 2,31
Säuren	RO_3	4 × 2,26
Carbonate . .	$CO_2 + RO$. . .	5 × 2,14
Sulfate . . .	$SO_3 + RO$. . .	6 × 2,22
Nitrate . . .	$NO_5 + R_2O$. . .	9 × 2,67.

In der letzten Columne bedeutet der erste Factor die Zahl der Atome, welche die Verbindung eingehen, der andere aber die Werthe, welche man den Producenten PC für die einfachen Elemente beilegen müsste, die sich aber hier etwas kleiner herausstellen, als wir sie oben bestimmt haben. Daher darf man den Satz, den Garnier aufstellte, dass nämlich die specifische Wärme jedes einfachen oder zusammengesetzten Körpers zum Atomgewichte im umgekehrten Verhältnisse steht, nicht so ganz allgemein aussprechen, denn wir sehen, dass der zweite Factor um so kleiner wird, einmal, je complicirter die Verbindung ist, und andererseits, je leichter sie zersetzt werden kann[1]).

Wenn wir somit sehen, dass das Gesetz von Dulong und Petit nicht exact ist, dürfen wir es dann etwa als ein Phantasiegebilde vollständig verwerfen? Auch dies wäre nicht richtig, sondern es ist gut, dasselbe als annähernd gültiges Gesetz beizubehalten und die Gründe für die Abweichungen zu erforschen. Diese Gründe aber ergeben sich schon aus einer Betrachtung der Werthe selbst; denn wir sehen, dass der grösste Werth 3,87 den permanenten Gasen zugehört: hierauf folgen die Flüssigkeiten mit 3,69, die Metalloïde mit 3,43, weiter die Metalle mit 3,13 und an letzter Stelle finden sich die zusammengesetzten Körper, für welche der Werth von 3,17 bis 2,14 herabsinkt. Es ist also unzweifelhaft, dass im Innern der Körper eine Ursache wirkt, welche die Grösse jenes Productes herabdrückt, wenn entweder die Zusammensetzung com-

die sich der der andern Elemente gut anschliesst. (Naturf. VIII, 1875. S. 205.) Sch.

[1]) Hirn, p. 306. Kopp, C. R. 1863. S.

plicirter wird, oder wenn die Cohäsion oder andere Molecularkräfte grössere Werthe bekommen: ohne diese Ursache würde das Product vielleicht für alle Körper constant sein. Sieht man von jenen störenden Ursachen ab, so geht die gewöhnliche Wärmecapacität q' gleichzeitig über in die absolute Capacität K; man muss daher bei der Bildung der Producte diese Grösse in Rechnung ziehen, und also nicht $q'P = \text{Const.}$, sondern für einfache Körper $KP = \text{Const.}$, und für Verbindungen, bei denen jedes Molecül n Atome enthält, $\frac{KP}{n} = \text{Const.}$ setzen.

Die Ursachen für die Aenderungen des Productes sind mannigfaltig, alle aber hängen von der innern Arbeit ab: und unter ihnen hat man, neben der sogenannten Molecularattraction, besonders den Umstand zu beachten, dass bei der Verwandlung der fortschreitenden in rotirende Bewegung ein Theil der lebendigen Kraft von jener auf diese übergeht; und auch jene Attraction lässt sich möglicherweise auf den Widerstand des Aethers zurückführen, in dem sich die Molecüle bewegen.

Das Gesetz von Dulong und Petit lehrt uns weiter, dass die chemische Thätigkeit die Wärmecapacität der Atome nicht wesentlich ändert, sondern dass sich in dieser Beziehung die chemischen Verbindungen gerade so verhalten, wie blosse Mischungen: was sich gründlich geändert hat, das ist nur die innere Arbeit. Endlich kann uns dieses Gesetz auch dienen um die wahre Zahl der Atome zu bestimmen, welche in einem Stoffe sich zu einem Molecüle vereinigen, eine Frage, deren Beantwortung auf rein chemischem Wege auf ausserordentliche Schwierigkeiten stösst. So können wir z. B. durch die Wärmemengen, welche beim Eingehen in Verbindungen sich entwickeln, veranlasst werden, die Zusammensetzung irgend eines Stoffes $C_{40}H_{80}$ zu schreiben, statt C_4H_8; denn, wenn hierbei auch das Verhältniss der Mengen dasselbe bleibt, so haben beide Schreibweisen für die physikalischen Eigenschaften verschiedene Bedeutung: die erste Schreibweise haben wir anzuwenden, wenn wir sehen, dass die Einwirkung der Wärme auf die Temperaturerhöhung eine geringere ist, sodass wir annehmen müssen, dass in diesem Falle die Atome verschieden angeordnet sind und sich in verschiedener Entfernung von einander befinden, als im entgegengesetzten Falle.

Durch eingehendere Untersuchungen über diesen Gegenstand ist Hirn[1]) zu folgenden Resultaten gekommen: 1) Die Atome können sich auf zweierlei verschiedene Weisen verbinden, indem sie sich entweder nur nach Art der gemischten Körper mit einander vereinigen, oder indem sie neue, ungetheilte Einheiten bilden; 2) durch Combination der Atome der chemisch einfachen Körper entstehen Molecüle, welche sich in Bezug auf ihre thermischen Eigenschaften wie einfache Atome verhalten; und 3) diese Molecüle können sich bilden oder auch umgekehrt sich zersetzen, wenn der Körper mit einem andern eine Verbindung eingeht.

Zu diesen Resultaten hat Rechnung und Beobachtung geführt; jetzt wollen wir aus dem Gesetz von Dulong und Petit einige weitere Folgerungen ziehen.

1) Die freien Atome der einfachen Körper haben gleiche specifische Wärme, da diese Grösse für Massen der verschiedenen Körper, die im Verhältnisse der Aequivalentzahlen stehen, gleich ist. Mithin braucht man dieselbe Wärmemenge, um sehr verschiedene Massen auf dieselbe Temperatur zu erheben, wenn sich die Gewichte nur wie die Aequivalente verhalten: so genügt dieselbe Wärmemenge, welche 16_{gr} Schwefel auf eine gewisse Temperatur erhebt, zu gleicher Erwärmung für 28_{gr} Eisen, 58_{gr} Zinn oder $103{,}5_{gr}$ Blei, denn dies sind die Aequivalentzahlen dieser Stoffe[2]).

Es besteht also ein ebenso unveränderliches Verhältniss zwischen den durch Wärme hervorgerufenen Bewegungsgrössen wie das Verhältniss der Massen ein constantes ist und das Calorimeter wird in der Chemie einmal dieselbe Wichtigkeit erlangen, wie die Wage. Wir werden bald weitere Bestätigungen dieser Behauptung kennen lernen.

2) Hieraus folgt, dass die constituirenden Atome der Körper derselben Kategorie dieselbe specifische Wärme besitzen; denn, da die specifische Wärme und das Atomgewicht im umgekehrten Verhältnisse zu einander stehen, ebenso wie dieses Gewicht und die Zahl der Atome, die sich in gleichen Massen befinden, so folgt, dass die specifische Wärme mit der Zahl der Atome im directen

[1]) Op. cit. p. 328. S.
[2]) S. Cantoni a. a. O., p. 10. S.

Verhältnisse steht, dass sie also für gleiche Zahlen derselben gleiche Grösse hat[1]).

3) Mit Rücksicht darauf, dass sich nicht für alle Körper, die man gewöhnlich als einfache Körper ansieht, dasselbe Product CP ergiebt, sind mehrere sehr bedeutende Chemiker zu der Annahme gebracht worden, dass einige von jenen Körpern in Wirklichkeit zusammengesetzte Körper sind und dass die Verschiedenheit jener Producte daher rührt, dass eine verschiedene Anzahl von Molecülen zu ihrer Bildung erforderlich ist. Hieraus hat man geschlossen, dass unsere analytischen Hilfsmittel uns nur bis zu gewissen Gruppen von Molecülen führen, die für die Metalle und die anderen Körper nicht gleichwerthig sind[2]). Aus sehr feinen Untersuchungen über die Dämpfe hat Grosham den Schluss gezogen, dass Schwefel, Brom, Jod und Chlor zusammengesetzte Körper sind[3]).

Aus demselben Grunde glaubt Berthelot, dass diejenigen einfachen Körper, deren absolute Capacität dieselbe ist, wie die der permanenten Gase, sich nicht weiter zersetzen lassen, und dass man daher die Ansicht aufgeben müsse, sie seien aus einfacheren Molecülen, etwa aus denen des Wasserstoffes, wie Prout annimmt, gebildet; denn in diesem Falle könnte ihre absolute Capacität nicht der des einfachen Wasserstoffatoms gleich sein, sondern der der Summe der Atome jenes Gases.

4) Lässt man die kleinen Abweichungen unberücksichtigt, welche der Werth des Productes CP zeigt, wenn die Verbindungen complicirter werden (ein Umstand, der nur als eine Störung des Gesetzes angesehen werden muss, und für den wir die Gründe später aufsuchen werden), so haben wir schliesslich gefunden, dass sich die Capacität der einfachen Körper nicht ändert, wenn dieselben Verbindungen eingehen; und dieses Gesetz behält auch dann noch seine Gültigkeit, wenn an die Stelle eines einfachen Körpers ein anderer

[1]) Bezeichnet man für zwei Körper die Atomgewichte mit P und P′, die specifische Wärme mit C und C′, die Zahl der Atome, welche in gleichen Massen m enthalten sind, mit n und n′, so ist $m = n\,P = n'\,P'$ andererseits nach dem Gesetze von Dulong und Petit $CP' = C'P'$, folglich

$$n : n' = P' : P \text{ und } C : C' = P' : P, \text{ also}$$

$$C : C' = n : n'$$

ist daher $n = n'$, so ist auch $C = C'$. S.

[2]) Kopp, a. a. O. S.

[3]) Arch. sc. physique, 1863, V. XVII, p. 41. S.

tritt, von dem es sicher ist, dass er aus verschiedenen Elementen besteht, wie Cyan oder Ammonium.

Aus allen diesen Thatsachen ergiebt sich von selbst die Folgerung, dass dieselbe Menge von lebendiger Kraft der Wärme erforderlich ist, um den verschiedenen elementaren Atomen gleiche Temperatur mitzutheilen, mögen dieselben nun isolirt oder mit anderen verbunden sein. Soll dieses Gesetz in aller Strenge gelten, so ist nothwendig, dass die Molecüle des Körpers vollständig frei sind, so dass die ganze Wärme, die ihnen zugeführt wird, auf die Temperaturerhöhung verwendet wird, oder dass wenigstens alle sich unter gleichen Umständen befinden; doch wird im letzteren Falle das Resultat von dem ersten abweichen. Dieses Gesetz, das Dalton aufgestellt hat, lässt sich daher für die freien Gase nachweisen, weil sich dieselben in absoluter Unabhängigkeit befinden, es lässt sich aber auch relativ für die Metalle bestätigen, denn wenn die Wärme auf dieselben wirkt, so können die physikalischen Bedingungen der Beweglichkeit derselben als identisch für die ganze Gruppe angesehen werden: dass das Product CP in beiden Fällen einen anderen Werth hat, haben wir gesehen.

Wir können daher mit Recht dieses Gesetz als ein beschränktes Gesetz ansehen; wollten wir es für alle Körper bestätigen, so müssten wir dieselben vergleichen, wenn sie gleichen Grad von Cohäsion besitzen, wenn sie alle von ihrem Schmelzpunkte oder ihrem Siedepunkte gleich weit entfernt sind, mit einem Worte, wenn sie von den sogenannten Molecularkräften in gleichem Grade beeinflusst werden. Noch ist die Wissenschaft weit davon entfernt, alle diese Forderungen zu erfüllen, und deshalb bleibt uns nichts übrig als anzunehmen, dass dieses Gesetz theoretisch richtig ist, dass es aber in praxi durch die erwähnten Ursachen vielfache Störungen erleidet.

Dass diese Ansicht richtig ist und nicht eine blosse Conjectur, können wir durch eine Thatsache bestätigen. Grosham[1]) hat gefunden, dass, wenn man die Dichtigkeit der Dämpfe von Körpern, welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff nach der Formel

$$C_p \ H_q \ O_r$$

zusammengesetzt sind, bei gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur, etwa der des siedenden Wassers beobachtet, man Werthe

[1]) Arch. sc. physique, a. a. O. S.

findet, welche der Zahl der Atome p + q + r proportional sind. In einigen Fällen hat er Ausnahmen von diesem Gesetze nachgewiesen und gezeigt, dass die Werthe, durch welche jene Abweichungen in den einzelnen Gruppen sich darstellen lassen, ziemlich einfache Beziehungen zu einander haben; auch muss man die Temperatur von — 273°, also vom absoluten Nullpunkte an rechnen, wenn man die Richtigkeit der Gesetze nachweisen will. Dieses Beispiel, das ich hier im Vorbeigehen anführe, zeigt, wie nöthig es ist die Untersuchung der Körper unter gleichen äusseren Umständen vorzunehmen.

Wir können es nunmehr als bewiesen ansehen, dass die Verschiedenheit der Wärmecapacität von dem Zusammenhange, welchen die Theilchen in den einzelnen Körpern besitzen, abhängig ist, dass sie dagegen für die isolirten Atome gleichen Werth hat: wirkt daher eine bestimmte Wärmemenge auf eine gleiche Zahl von Atomen, mögen dieselben einfach oder zusammengesetzt sein, so wird sie immer dieselbe Temperaturerhöhung bewirken. Nach der mechanischen Wärmelehre hat dieser Satz folgende Bedeutung: eine gegebene mechanische Energie verrichtet in allen Atomen der Körper dieselbe Arbeit, vorausgesetzt, dass sie nur die Trägheit der Molecüle zu überwinden hat. Da nun die Atome sehr verschiedene Massen haben, wie aus der Verschiedenheit der Atomgewichte hervorgeht, so folgt, dass sie auch in sehr verschiedene Geschwindigkeiten versetzt werden müssen. Wenn wir von der Betrachtung der Arbeit auf die Druckkräfte oder die entsprechenden virtuellen Kräfte, welche die Intensität der Stösse ausdrücken, ühergeben, so folgt, dass dieselbe Kraft Geschwindigkeiten erzeugen muss, die den Massen umgekehrt proportional sind. In dieser Weise werden die Erscheinungen der Wärmecapacität, wie sie durch das Gesetz von Dulong und Petit festgestellt sind, auf das elementare Gesetz von der Uebertragung der Bewegung von einer Masse auf die andere zurückgeführt, so dass der Ausdruck $CP = C'P'$ identisch ist mit $mv = m'v'$.

Was die Physiker schon längst für die Gase angenommen haben, das bestätigt sich auch hier, dass nämlich die moleculare Geschwindigkeit, welche verschiedene Körper bei derselben Temperatur besitzen, nicht für alle von gleicher Grösse ist, sondern dass sie um so grössere Werthe hat, je geringer die Masse ist. Hieraus lässt sich die sehr bedeutende Beweglichkeit der Stoffe erklären,

deren Atomgewicht sehr gering ist, wie des Wasserstoffs und seiner Verbindungen mit dem Kohlenstoffe, der Hydrocarbüre. Und weiter hängt wahrscheinlich von der Kleinheit jener Masse und der Grösse der Geschwindigkeit die unermessliche Mannigfaltigkeit der Verbindungen ab, welche aus den Stoffen gebildet sind, die das geringste Atomgewicht besitzen, nämlich Wasserstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff, denn diese Körper vereinigen sich in einer unzähligen Menge von Combinationen, zu denen besonders die organischen Substanzen gehören.

Nachdem wir das Gesetz besprochen haben, müssen wir uns nun mit den Ausnahmen beschäftigen. Die wichtigste Ausnahme, die sich uns darbietet, wird bedingt durch den Einfluss der molecularen Structur und durch den Aggregatzustand, in dem sich der Körper befindet: so ändert sich das Product CP, während das Gewicht P dasselbe bleibt, nicht allein in den verschiedenen Gruppen, sondern auch für dieselbe Substanz mit der physischen Beschaffenheit des Körpers. Für den Diamant beträgt es 2,05, für das Beinschwarz 3,13; für das Wasser 3,00 und den Wasserdampf 1,16[1]; für geschmolzenes Blei 4,17, für festes 3,25 u. s. w. Und doch haben wir jedes Mal in beiden Fällen dieselben Elemente, so dass der Einfluss des physikalischen Zustandes nicht zu verkennen ist.

Zur Erklärung für diese Verschiedenheiten können wir auf das verweisen, was wir vor Kurzem auseinandergesetzt haben, dass nämlich die Wärmecapacität von der Beweglichkeit der Theilchen und von der Arbeit, die zu ihrer Trennung nöthig ist, abhängt, dass sie sich verändert, wenn die physischen Bande, welche sie zusammenhalten, fester oder lockerer werden. In gleicher Weise muss auch das Product CP sich mit jenen Grössen ändern, welche eine Aenderung der zur Trennung nöthigen Arbeit bedingen. So haben wir für die Gase gesehen, dass die Differenz der Capacität bei gleichem Volumen und bei gleichem Drucke von ähnlichen Ursachen abhängt.

Wir haben bereits erwähnt, dass bei den zusammengesetzten Körpern die Aenderung des Productes möglicherweise durch den Einfluss der Rotation der Atome bewirkt wird, worüber wir uns jetzt etwas ausführlicher aussprechen müssen. Wenn wir die Zu-

[1]) Hirn, welcher für den Sauerstoff das Atomgewicht = 100 setzt, giebt statt der letzteren Zahlen 37,5 und 14,2. S.

sammensetzung der Körper rein als eine mechanische Verbindung der Atome ansehen, so muss schon dadurch eine Verschiedenheit entstehen, dass die Molecüle je nach ihrer verschiedenen Anordnung verschiedene Trägheitsmomente besitzen. Dies lässt sich noch deutlicher zeigen, wenn man einige Sätze aus der Lehre vom Stosse drehender Körper zu Hülfe nimmt:

1) Besitzt ein Körper sowohl fortschreitende, als auch drehende Bewegung, wie dies nach unserer Annahme bei den Atomen der Fall ist, und stösst derselbe auf einen anderen Körper, so ist die Wirkung dieselbe, als wenn er sich in einfacher Rotationsbewegung befände, d. h. als wenn er sich um eine Linie drehte, welche in der Mechanik als instantane Drehungsaxe bezeichnet wird; diese Axe verändert in jedem Augenblicke ihre Lage im Körper und verläuft in einem gewissen Abstande von der wahren Drehungsaxe, die bei freien Körpern immer durch den Schwerpunkt geht. Will man daher die Stösse der drehenden Atome bestimmen, so kann man sie immer auf jene instantane Axe beziehen und also von der fortschreitenden Bewegung ganz absehen.

2) Der Stoss eines drehenden Körpers erfolgt nur in seiner ganzen Stärke mv, wenn seine Richtung durch den Schwerpunkt hindurch geht, trifft er in anderer Richtung, so wirkt er nur mit einer Stärke, die einem Bruchtheile seiner Masse entspricht[1]): die Grösse dieses Bruches aber hängt vom sogenannten Trägheitsmomente des Körpers ab, dessen Grösse sich nach seiner Gestalt richtet. Wenn daher bei einem rotirenden Körper das Trägheitsmoment seinen Werth ändert, so wird sich auch nothwendig die Intensität des Stosses, den er gegen einen Punkt richtet, ändern.

Ein Beispiel wird diesen theoretisch bewiesenen Satz noch klarer machen. Denken wir uns einen Draht (Fig. 11), welcher in einer horizontalen Ebene um eine verticale Axe rotirt und auf welchem zwei Massen, durch die er hindurch geht, die aber durch einen Faden verbunden sind, leicht gleiten. Man stelle die beiden Massen so ein, dass der Faden gespannt ist, dass aber die Centrifugalkraft, welche die eine Masse von der Axe entfernen will, durch die Kraft,

[1]) S. Poinsot, a. a. O., wo gezeigt wird, dass der Stoss am grössten ist, wenn er in einem Abstande von der instantanen Axe erfolgt, die dem Hebelarme des Trägheitsmomentes des Körpers bezüglich derselben Axe gleich ist. S.

die auf die andere Masse wirkt, im Gleichgewicht gehalten wird. Könnte man nun während der Rotation den Faden durchschneiden, so würden sich die Körper sofort von der Axe entfernen; zugleich aber würde die Winkelgeschwindigkeit abnehmen und das Trägheitsmoment des Systemes würde sich ändern, so dass ein Punkt, welcher von demselben Punkte des Stabes, über dem der Draht ausgespannt ist, nach dem Durchschneiden des Fadens getroffen würde, einen andern Impuls empfängt, als wenn der Stoss vorher erfolgte. Denken wir uns nun, dass die Kugeln volle Freiheit hätten den Stab zu verlassen, so werden sie in der Richtung der Tangente fortfliegen und der Impuls, den der Stab ausübt, wird von dem vorher beobachteten sich noch weiter unterscheiden. Will man daher in allen drei Fällen denselben Stosseffect erzielen, so hätte man eine verschiedene Grösse von Arbeit aufwenden müssen um das System in Bewegung zu setzen, so dass man sich wohl den Ausdruck erlauben darf, dass seine Capacität

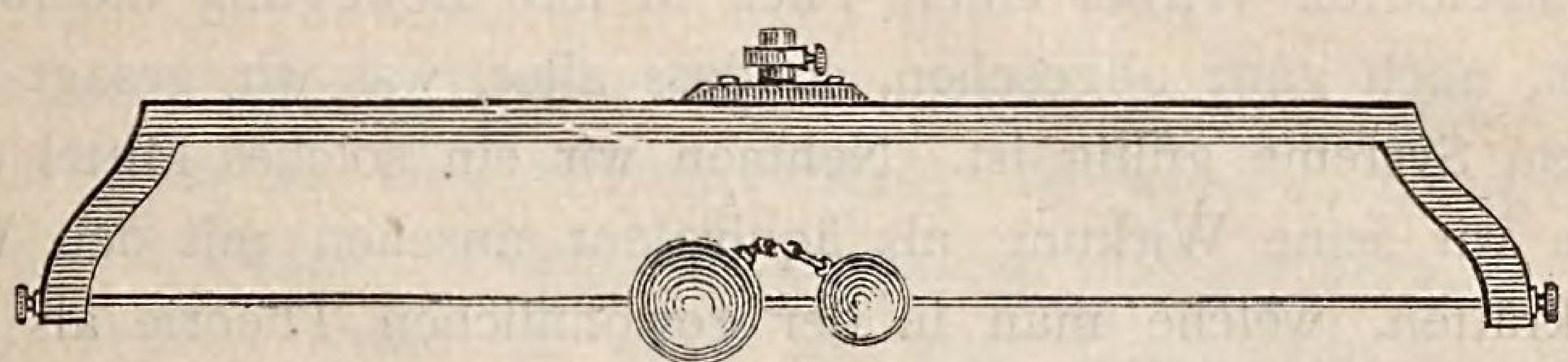


Fig. 11.

für die Kraft in den drei Fällen verschieden ist. Hierauf beruht der Gebrauch des Regulators bei den Dampfmaschinen, bei welchem eine grössere Kraft auf die Umdrehung verwendet wird, wenn sich seine Kugeln weiter entfernen und dadurch sein Trägheitsmoment grösser wird.

Die Intensität des Stosses eines rotirenden Körpers hängt also nicht bloss von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ab, sondern auch von dem Trägheitsmomente bezüglich der instantanen Drehungsaxe; in gleicher Weise muss daher auch die Energie der Wärme nach der Masse, der Geschwindigkeit der Molecüle und dem Coëfficienten der Capacität bemessen werden, welcher letztere von jenem Momente abzuhängen scheint. Wenn man auch das hier Auseinandergesetzte nicht so auffassen darf, als ob es eine endgültige Erklärung dessen sei, was in den Körpern bei der Aenderung des Aggregatzustandes vor sich geht, so kann es doch einiges Licht darauf werfen, was sich in ihnen ereignen muss, je nachdem

die Molecüle entweder vollständig frei sind oder durch Bande zurückgehalten werden, auf deren Natur wir jetzt nicht weiter eingehen wollen. Auf alle Fälle ist es klar, dass, wenn sich die Entfernungen und Trägheitsmomente ändern, auch die Potenz des Stosses, welche das eigentliche Wesen der Wärme ausmacht, einen anderen Werth erhalten muss. Weiter auf die Einzelheiten einzugehen ist nicht möglich, weil wir weder die Gestalten der Molecüle, noch die Form ihrer Gruppen kennen; allein dies genügt um zu zeigen, mit welchen Schwierigkeiten in den einzelnen Fällen die Anwendung der allgemeinen Principien der Mechanik auf die moleculare Constitution der Körper verbunden ist. Wie sollte man auch erwarten, dass man auf alle Fragen über diesen Gegenstand eine entscheidende Antwort erhielte, da dies bis jetzt noch nicht einmal in der Mechanik der gewöhnlichen Körper möglich ist?

Bisher haben wir von einem Mittel, in welches die Theilchen der Körper eingetaucht sind und von dem sie nach der Hypothese der molecularen Wirbel einen Theil in ihre Bewegung hineinziehen können, noch ganz abgesehen, so dass alles, was wir gesagt haben in jedem Systeme gültig ist. Nehmen wir ein solches Mittel an, so müssen wir seine Wirkung als äquivalent ansehen mit den Widerstandskräften, welche man in der gewöhnlichen Theorie als Molecularkräfte bezeichnet. Wenn es ein solches Mittel giebt, so ist klar, dass bei der Vereinigung mehrerer Wirbel zu einem einzigen das Trägheitsmoment und die Rotation des Systems sich ändern müssen. Vor der Hand aber wollen wir auf die Einführung solcher Hypothesen verzichten, damit die mechanische Theorie der Wärme vollständig unabhängig bleibe von der Betrachtung von Ursachen, welche uns erst durch Erscheinungen anderer Art näher gebracht werden.

Zum Schluss wollen wir noch ein Mal erwähnen, dass das Gesetz, dass die einzelnen Atome der Materie gleiche Wärmecapacität besitzen, in der Natur annähernde Gültigkeit hat, dass es aber deshalb für zusammengesetzte Systeme nicht in gleicher Weise gelten kann; seine Aenderungen beim Uebergang in einen andern Aggregatzustand oder bei chemischen Vorgängen lassen sich entweder durch eine blosse Aenderung des Trägheitsmomentes der zusammengesetzten Molecüle oder aus der Arbeit erklären, die nöthig ist um die Molecularkräfte zu überwinden: letztere Arbeit aber kann möglicher Weise darin bestehen, dass den verschiedenen Atmo-

sphären, welche jedes einzelne Molecül umgeben, eine andere Anordnung gegeben wird.

Alles, was in diesem Kapitel gesagt ist, setzt voraus, dass die Materie aus getrennten Atomen besteht, wofür die Chemie noch manche andere Beweise giebt; sollte aber darüber noch irgend ein Zweifel bestehen, so würden die Gesetze selbst, die wir entwickelt haben und die sich ohne eine solche Voraussetzung gar nicht begreifen lassen, für sich allein schon genügen um die Wahrheit einer Annahme zu beweisen, welche von denen, die sich auf Chemie verstehen, kaum noch angefochten wird.

KAPITEL XIV.

Die Wärme, welche bei den chemischen Thätigkeiten entwickelt wird.

Die chemische Thätigkeit ist die stärkste Quelle von Kraft, die dem Menschen zu Gebote steht: durch sie werden die grössten mechanischen Effecte bewirkt, die im Kriege und im Bergbaue Verwendung finden, sowie sie auch die erste Kraftquelle in unseren calorischen Maschinen ist: denn in ihr besteht der Process der Verbrennung; sie erhält endlich die Körper der organischen Natur, die mit Leben begabt sind, in Bewegung. Allein die chemische Thätigkeit ist eine Kraft, deren Wesen noch in tiefes Dunkel gehüllt ist und deren Wirkungsart noch von einem dichten Geheimniss umgeben ist; deshalb würde jeder Versuch, sie zu erklären, vergeblich sein, welcher nicht von den Erscheinungen ausgeht, deren Quelle sie ist. Eines wissen wir aber gewiss, nämlich dass sie niemals in die Ferne wirkt, sondern dass die unmittelbare (wenigstens scheinbare) Berührung für ihre Wirksamkeit eine ebenso unerlässliche Bedingung ist, wie für die Uebertragung der Bewegung. Wie bei den anderen Kräften, deren Wesen uns unbekannt ist, sind wir auch bei der chemischen Thätigkeit gezwungen ihre Stärke nach ihren Wirkungen zu beurtheilen: da nun unter diesen Wirkungen die Erzeugung der Wärme einen wichtigen Platz einnimmt, so führt uns der Gang der Entwickelung naturgemäss dazu, dass wir die Beziehungen zwischen jener Thätigkeit und dieser Wirkung untersuchen.

Freilich sind bisher nur wenige Beziehungen zwischen der Art, wie die chemische Thätigkeit wirkt, und den anderen Gesetzen, denen die Materie unterworfen ist, aufgefunden worden, trotz der ungeheuren Anstrengungen, welche sowohl von Seite der Wissenschaft als auch von Seite der Industrie gemacht worden sind: allein einige Punkte sind wenigstens genügend ins Licht gestellt worden, so dass sie als Gesetze gelten können. Den ersten Grund zur Aufstellung dieser Gesetze legten die Untersuchungen von Rumford, Dalton und Dulong über die Verbrennung, als denjenigen Vorgang, der in den Gewerben von so ausserordentlicher Wichtigkeit ist: in neuerer Zeit haben Favre und Silbermann jene Forschungen auf viele Stoffe ausgedehnt und ihre Versuche mit der grössten Sorgfalt angestellt; sie haben mehrere Sätze bewiesen, welche für die Kenntniss der Bewegungsgrösse der Molecüle ebenso wichtig sind, als das Gesetz der chemischen Aequivalente für die Kenntniss der Massen, welche mit einander eine Verbindung eingehen.

Das erste Gesetz, welches sie fanden, lautet: bei jeder chemischen Verbindung wird eine bestimmte und unveränderliche Menge von Wärme entwickelt; diese Wärmemenge ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Verbindung erfolgt, so dass dieselbe Wärme z. B. entwickelt wird, wenn eine Substanz sehr schnell unter Feuererscheinung oxydirt, wie wenn die Oxydation langsam und ohne Lichtentwickelung erfolgt: nur ist es im letzteren Falle sehr schwer die Dispersion der Wärme zu verhindern, so dass man für gewöhnlich meint, dass die erzeugte Wärme geringer sei als im anderen Falle. In gleicher Weise, wenn das Product der Verbindung mit einer überwiegenden Menge des einen nicht verbundenen Stoffes gemischt bleibt, wie dies beim Mischen der Säuren mit Wasser der Fall ist, so entwickelt sich, wenn sich bestimmte Mengen dieser Stoffe vereinigen, auch immer dieselbe Wärmemenge, mag der Vorgang allmählich erfolgen oder mit einem Schlage eintreten. Weiter hat sich gezeigt, dass diejenigen Verbindungen die festesten sind, die bei ihrer Entstehung die grösste Zahl Calorien erzeugen; daher wird auch die Menge der erzeugten Wärme um so geringer, je complicirter die Verbindungen werden. In dieser Beziehung folgen die verbrennbaren Elemente in dieser Ordnung aufeinander: Kalium, Natrium, Zink, Eisen, Blei, Kupfer, Silber, die Elemente dagegen, welche die Verbrennung unterhalten, in folgender Ordnung: Chlor, Brom, Sauer-

stoff, Jod, Schwefel. Die Verbindung des Wasserstoffs und des Sauerstoffs, aus der das Wasser besteht, gehört durchaus nicht, wie man lange Zeit annahm, zu den beständigsten, denn Grove hat sie bei Temperaturen zersetzt, denen die Oxyde des Zinks, des Silbers und anderer Körper widerstehen würden.

Wir sind noch weit davon entfernt, dass wir ein genaues Mass für die chemische Energie der einzelnen Körper aus jener Reihe aufstellen könnten: und so wie wir noch keinen Grund angeben können für die Verschiedenheit des Atomgewichtes der einzelnen Stoffe, so ist uns auch das Gesetz verborgen, dem die Menge der Wärme unterworfen ist, die sich entwickelt, wenn die verschiedenen Stoffe Verbindungen mit einander eingehen. Wie nun die Atomgewichte Vielfache des Atomgewichtes eines bestimmten Stoffes (des Wasserstoffes) sind, so ist es nicht unmöglich, dass auch die Wärmemenge, welche sich bei den verschiedenen chemischen Verbindungen entwickelt, immer ein gewisses Vielfaches von der Wärmemenge ist, welche bei einer gewissen Verbindung erzeugt wird. Daher schlägt Woods vor, als Mass für die chemische Verwandtschaft die Wärmemenge zu nehmen, welche beim Eingehen der chemischen Verbindung entwickelt wird, und indem er seine eignen Untersuchungen mit denen vereinigt, die Silbermann angestellt hat, hat er gefunden, dass für viele Verbindungen des Sauerstoffs die Wärmemengen, die sich beim Verbrennen eines chemischen Aequivalentes der verschiedenen Stoffe entwickeln, Vielfache der Zahlen sind, die sich bei der Verbrennung in Jod ergaben. Dieses Resultat ist von grosser Wichtigkeit, als ein erster Schritt, der zu einem Gesetze für diese Erscheinungen führen kann. Schon im Jahre 1854 hat Thomsen gezeigt, dass die Zahl der Calorien, die sich bei einer grossen Anzahl von Verbindungen entwickeln, Vielfache der Zahl 18000 sind, wenn man das Atomgewicht des Sauerstoffs = 16 annimmt, so dass jene Zahl vielleicht als eine constante für diese Ercheinungen anzusehen ist.

Je zusammengesetzter die Verbindungen sind, desto verwickelter zeigen sich auch die Gesetze. Verbinden sich mehrere Säuren, z. B. Salpetersäure, Chlorwasserstoff-, Bromwasserstoff- und Jodwasserstoffsäure mit ein und derselben Basis, so erzeugen sie die gleiche Wärmemenge: andere dagegen, wie die Schwefelsäure, geben viel mehr Wärme; in gleicher Weise ist die Wärmemenge verschieden, wenn sich ein und dieselbe Säure mit verschiedenen Basen verbindet.

Diese Erscheinungen, welche freilich in ihrer Allgemeinheit noch nicht recht eingehend untersucht sind, deuten doch sicherlich auf ein Gesetz hin, das zur Zeit noch nicht ganz klar erkannt ist und namentlich auch durch mancherlei dabei auftretende Nebenumstände noch verdeckt wird: vor der Hand fehlt es noch an dem rechten Vergleichspunkte; dass aber ein solches Gesetz besteht, können wir aus folgender Beobachtung schliessen.

Tauschen zwei neutrale Salze, die mit einander gemischt sind, gegenseitig ihre Basen aus, so hat man gefunden, dass sich die Temperatur nicht erhöht, wenn die neugebildeten Salze in der Flüssigkeit gelöst bleiben: wird dagegen das eine in fester Form niedergeschlagen, so steigt die Temperatur. Diese Temperaturerhöhung wird also offenbar durch die Aenderung des Aggregatzustandes bewirkt: dagegen beweist die Constanz der Temperatur in dem Falle, wo sich der Zustand nicht ändert, dass beim Eingehen der Verbindungen eben so viel Wärme entwickelt, als bei der Lösung der Verbindung der Salze absorbirt wird. Der Schluss ist analog der Ueberlegung, durch welche man zur Constanz der Aequivalente der Massen gekommen ist, da zwei neutrale Salzes wenn sie mit einander gemischt werden, auch wieder neutrale Verbindungen geben: diese Thatsache steht offenbar im Zusammenhange mit dem Gesetze, nach welchem die Wärmecapacität der Aequivalente dieselbe ist.

Im Allgemeinen nimmt man an, dass bei der Lösung der Verbindungen ebenso viel Wärme absorbirt wird, als sich bei der Bildung der Verbindung entwickelt und wir haben für diese Absorption der Wärme schon ein Beispiel bei der Zersetzung des Wassers (S. 165) angeführt; aus keinem andern Grunde ist es nothwendig gewisse zusammengesetzte Körper sehr stark zu erwärmen, wenn man ihre Verbindung lösen will, als um ihnen die Wärme zuzuführen, deren sie für den neuen Zustand bedürfen: d. h. man muss ihren Molecülen so viele Geschwindigkeit ertheilen, dass sie nicht allein die physikalischen, sondern auch die chemischen Bande überwinden können. Da ausserdem gewöhnlich der eine der Körper oder auch mehrere den physikalischen Zustand ändern, wenn sie aus der chemischen Verbindung austreten, so muss man auch alle die Calorien mit in Rechnung ziehen, welche bei der Aenderung des Zustandes absorbirt oder entwickelt werden, wenn man die end-

gültige Wärmemenge bestimmen will, die man einem Körper zuführen muss um ihn zu zersetzen.

Daher sind die Fälle durchaus nicht selten, in denen scheinbar bei der Lösung der Verbindungen Wärme frei wird; sieht man aber genau zu, so kann man leicht finden, dass diese Wärmeerzeugung entweder dadurch hervorgerufen wird, dass sich gleichzeitig neue, engere Verbindungen bilden (welche, so zu sagen, mehr Wärme produciren), oder dadurch, dass die Stoffe ihren Aggregatzustand ändern. Der erste Fall tritt besonders bei der Zersetzung von Verbindungen organischen Ursprungs ein, bei denen sich gleichzeitig festere Verbindungen bilden. So erscheint z. B. auf den ersten Blick die Verbrennung der Schiessbaumwolle als eine Zersetzung, und sie ist es auch, wenn man die Umwandlung der Baumwolle selbst ins Auge fasst, die ja eine ziemlich complicirte Verbindung von Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff ist; prüfen wir aber die Producte der Verbrennung, so sehen wir, dass die Stoffe viel innigere Verbindungen eingehen, wie Wasser, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, welche viel mehr Wärme entwickeln, als beim Freiwerden des Stickstoffes und bei der Lösung der ursprünglichen Gruppirung der Stoffe absorbirt wird. In gewisser Weise kann man jene Körper als Anhäufungen von Gasen ansehen, welche durch die Wirkung der Molecularkräfte selbst in sehr hohem Grade zusammengepresst sind, und die sich zu einem noch engeren Zustande mit einander verbinden, wenn eine geeignete Ursache auf sie wirkt. Eine solche Ursache ist gewöhnlich die Temperaturerhöhung, welche in einem Punkte der Masse hervorgerufen wird; durch sie wird das nicht sehr beständige Gleichgewicht, in dem sich die Molecüle befinden, gestört, und die Molecüle ordnen sich von Neuem so an, dass nun ihr Gleichgewicht ein stabileres ist. Dasselbe lässt sich von der Verbrennung des Schiesspulvers sagen, bei welcher noch zu beachten ist, dass zwei chemische Elemente, welche sich vorher im einfachen Zustande und nur mit einander gemischt und durch schwache Cohäsion zusammengehalten im Pulver vorfanden, nunmehr Verbindungen eingehen: es ist dies der Schwefel und der Kohlenstoff, wozu man als drittes Element noch den Wasserstoff fügen kann, der in der vegetabilen Kohle dem Kohlenstoffe beigemischt ist. Diese Vereinigungen erfordern zwar die Zersetzung des Salpeters, allein dieselbe absorbirt viel weniger Wärme, als durch die Bildung des Wassers, der Sulfate und Carbonate, sowie des

Schwefelkohlenstoffes und Schwefelkaliums, die bei der Explosion entstehen, frei werden. Eine quantitative Analyse der calorischen Aequivalente jener Producte ist meines Wissens noch nicht gemacht worden; dieselbe würde ergeben müssen, dass die bei der Verbindung der Stoffe entwickelte Wärme bedeutend mehr beträgt als die Wärme, welche bei der Zersetzung des Kalisalpeters verbraucht wird: denn dieses Salz hat ein viel niedrigeres Wärmeäquivalent als das schwefelsaure Kali. Wenn also alles Kali des Salpeters in schwefelsaures Kali überginge, so würde eine sehr bedeutende Wärmeentwickelung stattfinden: doch auch trotzdem, dass dies nicht der Fall ist, wird der Ausfall durch die Bildung der anderen Verbrennungsproducte reichlich gedeckt. Also auch hier verdankt die Wärme nicht der Zersetzung ihren Ursprung, sondern der Bildung der chemischen Verbindungen.

Es kann aber auch bisweilen vorkommen, dass in den Körpern auch ohne chemische Thätigkeit eine Wärmeentwickelung stattfindet, in dem Falle nämlich, dass sie nur aus einem molecularen Zustande in einen andern übergehen, wie dies beim Phosphor, beim Schwefel und anderen der Fall ist: steigt doch die Temperatur des letzteren schon um 12°, wenn seine Krystallform aus der prismatischen Gestalt in die octaëdrische übergeht. Auf diese letzteren Vorgänge lässt sich sehr häufig der Umstand zurückführen, dass sich bei der Lösung chemischer Verbindungen, z. B. des Silberoxydes und anderer Oxyde, besonders aber des Wasserstoffsuperoxydes, Wärme entwickelt; höchst wahrscheinlich hängt die letztere Erscheinung mit dem Umstande zusammen, dass der Sauerstoff in zwei Formen auftritt, als gewöhnlicher Sauerstoff und als Ozon. Auch wirkt hierbei gewöhnlich die Aenderung des Zustandes, die mehr oder weniger häufig bei diesen Vorgängen erfolgt, und der Grad der Cohäsion mit, den die Körper vorher besassen: so entwickelt z. B. Kohlenstoff verschiedene Wärmemengen als Diamant und als Pflanzenfaser. Aus Rücksicht hierauf ist es ziemlich schwer zu entscheiden, ob die chemischen Zersetzungen als solche Wärme entwickeln, da der Verdacht immer nahe liegt, dass irgend eine andere Ursache mit ins Spiel kommt, durch welche Wärme erweckt wird: allein die Entscheidung dieser Frage gehört vor das Forum der Chemiker.

So wie es ein constantes Verhältniss zwischen den Massen giebt, welche mit einander chemische Verbindungen eingehen, so besteht auch ein festes Verhältniss für die Wärmemengen, welche bei den

chemischen Vorgängen entwickelt werden. Dies zeigt sich, wenn Säuren und besonders Schwefelsäure durch Wasser verdünnt werden; besonders aber bei Körpern, die in analoger Weise chemisch zusammengesetzt sind wie die Kohlenwasserstoffe, die nach der Formel $(C_2 H_2)^n$ gebildet sind: so oft sich die Elemente des Kohlenwasserstoffs in der Verbindung wiederholen ($C_2 H_2 = 4$ El.), so oft vermindert sich die Zahl der Calorien um 37,5 [1]. Aber nicht allein die relative Menge der chemischen Elemente beeinflusst die Wärmeentwickelung, sondern diese hängt auch ab von der Anordnung der Molecüle; daher kommt es, das isomere Körper, trotzdem, dass die chemischen Aequivalente in gleicher Zahl enthalten, doch verschiedene Mengen von Wärme bei ihrer Verbindung erzeugen, wenn die Elemente in ihrem Innern auf verschiedene Weise angeordnet sind. Hierdurch wird wieder bestätigt, dass nicht allein die Menge und die Natur des Stoffes die physikalischen Eigenschaften des Körpers und die Menge der von ihm entwickelten Wärme bedingt, sondern dass beide Beziehungen auch sehr wesentlich von der Anordnung der Molecüle beeinflusst werden.

Wir können hier nicht das ganze weite Gebiet der neueren Chemie durchwandern: es mögen daher diese Bemerkungen genügen um zu zeigen, dass die chemische Kraft ebenso, wie alle anderen Kräfte der Natur, eine Kraft von bestimmter Grösse ist, welche sich als eine Arbeit der Molecüle ausdrücken lässt, welche mit der entwickelten Wärme in einem festen Verhältnisse steht. „Die Wahlverwandtschaft,“ sagt Bunsen [2], „oder die Kraft, welche die Vereinigung der Theilchen verschiedener Körper bewirkt und aus ihnen einen zusammengesetzten Körper bildet, ist sowohl bezüglich der Quantität, als auch der Qualität eine fest bestimmte Grösse, welche ebenso wie alle anderen Kräfte der Materie weder geschaffen noch zerstört werden kann. Daher drückt man sich ganz falsch aus, wenn man sagt, dass ein Körper unter gewissen Verhältnissen Wahlverwandtschaft besitzt, die er unter anderen Verhältnissen verliert. Dieser Ausdruck kann keine andere Bedeutung haben, als dass in manchen Verhältnissen die Körper den chemischen Anziehungen

[1]) Viele der oben erwähnten Data kann man ausser in den Originalwerken nachlesen in Manuale di fisica von Cantoni, p. 547 und Traité de physique von Daguin, t. II, p. 492. S.

[2]) Phil. Trans., 1857, p. 381. S.

freie Folge leisten können, während sie in anderen Fällen durch Kräfte, die im entgegengesetzten Sinne wirken, daran verhindert sind. Jene entgegengesetzten Anziehungen, welche überwunden werden müssen, bevor die Verbindung der Stoffe eintreten kann, lassen sich vergleichen mit der Reibung und anderen Widerständen, welche sich der Bewegung widersetzen, in ähnlicher Weise, wie auch der elektrische Strom in metallischen Leitern, die Wärme, die sich durch Metalle verbreitet, der Magnetismus bei seiner Mittheilung u. s. w., Widerstände zu überwinden haben. Wir besiegen diese Widerstände und beschleunigen die chemische Verbindung durch Erschütterungen, durch Erhöhung der Temperatur, durch den Einfluss eines dritten Körpers, welcher in die Verbindung nicht mit eingeht (katalytische Thätigkeit), durch die Einwirkung directen oder diffusen Sonnenlichtes, und ähnliche Einflüsse."

Diese Bemerkungen, welche wir mit den Worten eines der bedeutendsten Chemiker unserer Zeit anführen, lassen erkennen, unter welchem Gesichtspunkte wir die chemische Verwandtschaft zu betrachten haben: sie ist demnach eine Ursache der Bewegung, die in ihren Wirkungen durch Widerstände, welche sich ähnlich verhalten, wie die Reibung, aufgehalten, durch verschiedene Arten mechanischer Mittel dagegen unterstützt werden kann; deshalb darf man ihr auch keinen andern Ursprung zuschreiben, als nur einen rein mechanischen. Wir werden später versuchen diese Ideen in etwas helleres Licht zu setzen; vorher müssen wir aber untersuchen, wie sich in anderen Fällen der Einfluss mechanischer Thätigkeit bemerklich macht, was nicht geschehen kann, ohne dass wir immer darauf Rücksicht nehmen, auf wie viele verschiedene Weisen die Materie sich in Bewegung versetzen lässt.

Welches auch das Princip sei, durch das die Vereinigung verschiedenartiger Stoffe bewirkt wird, so lässt sich in jedem Falle folgende Bemerkung machen: so oft Molecüle von verschiedener Grösse, welche vorher von einander unabhängig waren, eine solche Verbindung eingehen, dass sie nunmehr nur noch Theile eines und desselben zusammengesetzten Körpers sind, so muss sich immer ein Ueberschuss an lebendiger Kraft ergeben, der nicht verschwinden kann, sondern der ganzen Masse eine Bewegung ertheilt, welche sich in der Form von Wärme bemerklich macht. Im vorigen Kapitel haben wir nachgewiesen, dass die Atome der Elemente gleiche Wärmecapacität besitzen und dass für die verschiedenen

chemischen Aequivalente das Product aus Masse und Geschwindigkeit constant bleibt: so lange also die Körper getrennt bleiben, hat man

$$mv = m'v' = a;$$

vereinigen sich nun dieselben durch irgend welche Ursache zu einem Molecüle oder zusammengesetzten Atome, so müssen sie eine mittlere Geschwindigkeit u annehmen, welche mit Rücksicht auf ihre Massen zu berechnen ist; nach dem Satze vom Stosse nichtelastischer Körper wird also die Gleichung gelten

$$(m + m')\,u = 2a,$$

so dass die Bewegungsgrösse des Systemes nicht geändert ist; denn wir haben schon erwähnt, dass jene Grösse constant bleiben muss, wenn man voraussetzt, dass die Molecüle sich gleichzeitig in drehender und fortschreitender Bewegung befinden. Dagegen ist die Summe der lebendigen Kräfte in beiden Fällen verschieden, denn vor der Vereinigung beträgt dieselbe

$$mv^2 + m'v'^2 = \frac{m^2v^2}{m} + \frac{m'^2v'^2}{m'} = \frac{a^2}{m} + \frac{a^2}{m'},$$

nach der Vereinigung dagegen

$$(m + m')\,u^2 = \frac{(m + m')^2\,u^2}{m + m'} = \frac{4a^2}{m + m'};$$

der erste dieser Ausdrücke übertrifft aber den zweiten um

$$a^2\,\frac{(m - m')^2}{mm'\,(m + m')},$$

eine Grösse, die nothwendig positiv ist, so dass bei der Vereinigung zweier verschiedenartiger Molecüle eine gewisse lebendige Kraft disponibel wird. Dieser Satz lässt sich nicht allein auf die chemische Thätigkeit anwenden, sondern er gilt auch bei der Vereinigung von Molecülen durch sogenannte homogene Anziehung, sobald nur die Massen, welche sich miteinander zu einem Ganzen vereinigen, von verschiedener Grösse sind: er gilt also auch z. B., wenn sich feste Molecüle mit den freien Molecülen einer Flüssigkeit vereinigen, oder wenn die Molecüle einer Flüssigkeit die eines Dampfes condensiren.

Schon früher, als wir die Aenderung des Trägheitsmomentes untersuchten, welche in den Körpern aus der Anhäufung oder Trennung der Theile entspringen musste (S. 182), haben wir den Grund

für die Entwickelung der disponibeln lebendigen Kraft angedeutet, und man kann wohl annehmen, dass auch bei der chemischen Thätigkeit die Wärmeentwickelung von der Gestalt und den Trägheitsmomenten abhängig ist, wie bei der Anziehung gleichartiger Molecüle. Bei den chemischen Verbindungen wird es sehr häufig vorkommen, dass sich die Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung auf Kosten der Rotationsbewegung erhöht, wie wir es bei Gelegenheit der Aenderung des Aggregatzustandes kennen gelernt haben. Und hierin ist wahrscheinlich der Grund zu suchen, weshalb mit Rücksicht auf die thermischen Verhältnisse die Zahl der Atome so abzuändern ist, dass zwei zusammen nur immer die Functionen eines einzigen verrichten.

Als Quelle der Wärme bei den chemischen Vorgängen sehen Manche die Reibung der Molecüle an, allein diese Erklärung scheint uns ungenügend: denn da die Reibung nichts Anderes ist, als eine mechanische Arbeit, die durch den Stoss der Theilchen ausgeführt wird, welche sich bei unseren gewöhnlichen Maschinen als Widerstandskraft äussert, so muss vorausgesetzt werden, dass zuvor eine Potenz gewirkt hat, durch welche sie erst erzeugt worden ist; daher kann bei den chemischen Actionen diese Kraft nicht wirken, ohne dass schon vorher eine Kraft gewirkt hat, wodurch wir in unseren Schlüssen im Kreise herumgeführt werden. Sicherlich besteht in der Masse im Augenblicke der chemischen Verbindung eine sehr lebhafte Erregung der Theilchen, und diese kann auch, wenn man so sagen will, Reibung, oder richtiger Vibrationen bewirken: allein dieselben können nur durch eine Potenz erzeugt werden, welche den Theilchen solche Geschwindigkeit mittheilt; eine solche Potenz aber können wir unmöglich irgendwo anders finden als in den Bewegungen, in welchen sich die Molecüle schon zuvor befanden. Wollten wir annehmen, dass sich die Molecüle in Ruhe befinden, so müssten wir zugeben, dass beständig Bewegung aus Nichts geschaffen würde und ebenso wieder sich in das Nichts auflöst, was nach den Ueberlegungen, die wir früher anstellten, absurd sein würde.

Nach der Meinung anderer Naturforscher lässt sich unter Beibehaltung der mechanischen Theorie die Wärmeentwickelung bei den chemischen Operationen nur dadurch erklären, dass sich die Wärmecapacität oder das Volumen der Körper ändert; allein nach dem bisher Gesagten ist auch diese Annahme nicht nothwendig. Dass

sich bei der chemischen Verbindung irgend etwas ändert, ist klar denn sonst würden die Verbindungen blose Mischungen sein: und daher gab auch die alte Theorie, welche besondere Kräfte annahm, die Existenz von Aenderungen zu, welche durch neue Vereinigung der Atome, wie sie vorher nicht bestanden, erzeugt werden: worin aber diese Aenderungen bestehen, das können wir zur Zeit noch nicht angeben, da wir die innere Constitution der Körper noch nicht kennen. Wirkt bei dieser Constitution die Anwesenheit eines Fluidum mit, welches um jedes Molecül einen Wirbel bildet, so lässt sich recht gut einsehen, wie deren Vereinigung in der ganzen Masse eine grosse Aufregung hervorbringen muss, indem die Wirbel in den ursprünglichen Atmosphären in Verwirrung gerathen und sich in den neuen Atmosphären in anderer Weise anordnen. Auf alle Fälle würde es jetzt noch nicht am Platze sein eine Theorie dieser Bewegungen aufzustellen, bevor wir uns mit den Erscheinungen der Elektricität und des Lichtes beschäftigt haben; denn diese haben auf die chemische Thätigkeit den grössten Einfluss, und aus ihnen werden wir für die Entwickelung der Theorie den grössten Nutzen ziehen.

Wir wollen hier noch an den Umstand erinnern, dass bei diesen Vorgängen in der Natur scheinbar die sprungweisen Aenderungen die Regel bilden, indem die Aenderungen des Aggregatzustandes gewöhnlich nicht durch unmerkliche Uebergänge eintreten, sondern durch einen bestimmten, sehr merklichen Sprung, wie wir seiner Zeit gesehen haben, wobei sich auch die Capacität plötzlich ändert; ein ähnlicher Fall tritt auch ein, wenn sich die Körper chemisch verbinden oder die Verbindungen sich zersetzen und es fragt sich, welches wohl der Grund für diesen Sprung ist[1]). Beim Uebergange aus dem luftförmigen in den flüssigen Zustand haben wir diesen Sprung dadurch erklärt, dass die fortschreitende Bewegung der Molecüle in engen Grenzen eingeschlossen wurde, beim Erstarren der Flüssigkeiten dagegen dadurch, dass die Rotationsaxen der einzelnen Theilchen eine bestimmte Richtung annehmen; zugleich mussten aber auch die Aenderungen der Trägheitsmomente

[1]) Natura non facit saltum, heisst ein alter Satz, der aber erst von Boscowich in Nr. 141 der Philosophiae naturalis theoria in das rechte Licht gestellt wurde: es ist klar, dass solche Sprünge nicht von den einzelnen Elementen ausgeführt werden, die ihren Zustand stetig ändern können, sondern von ihren Verbindungen. S.

der Molecüle Berücksichtigung finden. Bei den chemischen Actionen erfolgt dieser Spruug gewiss auch zum Theil aus demselben Grunde, nur dass hierbei die Gruppen der Molecüle viel kleiner sind und auch verschiedene Massen besitzen: doch scheint hierbei noch etwas Anderes erforderlich zu sein. Diejenigen, welche besondere abstracte Kräfte annehmen, sind mit der Erklärung dieser Verhältnisse schnell fertig, indem sie sagen, dass diese Wirkung vom Werthe und der Intensität der Wahlverwandtschaften abhängt: will man aber den physikalischen Grund dieser Erscheinungen angeben, so dürfte dass, was wir bisher entwickelt haben, wohl noch nicht genügen.

Uebrigens sind diese Sprünge doch nur scheinbar, in Wirklichkeit besteht auch hier Continuität: sie haben eine gewisse Aehnlichkeit mit denen, die wir bei einer andern Art von Kräften vorfinden, deren Wirkungsweise uns wohl bekannt ist, wie z. B. bei der allgemeinen Massenanziehung. Kreist ein Begleiter um einen Centralkörper, so wird seine Bahn eine Ellipse sein, wenn er in einem Punkte derselben eine bestimmte Geschwindigkeit besitzt: wird seine Wurfgeschwindigkeit vergrössert, so geht die Ellipse in eine Parabel über und wird bei noch weiterer Vergrösserung zur Hyperbel, sodass dann der Körper in unendliche Fernen geschleudert wird. Schwindet dagegen die Wurfkraft, so wird die Bahn kreisförmig, und bei weiterer Abnahme vereinigt sich der Begleiter mit dem Centralkörper. Diese Grenzfälle unterbrechen die Stetigkeit, allein dies geschieht durch ganz allmähliche und unmerkliche Abstufung. In ähnlicher Weise ist wohl auch der Uebergang der Körper in die verschiedenen Aggregatzustände ein allmählicher und erfolgt in verschiedenen Abstufungen, nur sind die Grenzen zwischen den äussersten Fällen sehr eng und die Ursachen für den Uebergang zu ihnen ziemlich verwickelt und schwer zu untersuchen. So wie wir gesehen haben, dass zwischen dem flüssigen und luftförmigen Zustand kein sprungweiser Uebergang besteht, sondern dass die Verwandlung nur ziemlich schnell erfolgt, und wie zwischen der festen und flüssigen Form die Uebergangsform des zähflüssigen Zustandes steht, so werden wohl auch die chemischen Verwandlungen in stetigem Uebergange erfolgen, nur dass hierbei die Grenzen bedeutend enger sind.

Wir werden auf diesen Punkt wieder zu sprechen kommen, wenn wir zuvor das Wesen der Materie etwas genauer untersucht

haben: jetzt mag es genügen, dass wir erkannt haben, dass jede Thätigkeit von bestimmter Grösse ist, die sich durch ganz bestimmte dynamische oder calorische Wirkungen äussert, und dass wir den Ursprung der Wärmeentwickelung nach der mechanischen Theorie angedeutet haben. Es bleibt immer noch zu untersuchen, welches die bestimmende Ursache für die Vereinigung der Atome ist: denn was wir darüber bisher gesagt haben, ist noch nicht geeignet über diesen Punkt einiges Licht zu verbreiten. Vor der Hand sind wir noch gezwungen solche Ausdrücke, wie Wahlverwandtschaft, chemische Anziehung u. s. w. zu gebrauchen, müssen aber gestehen, dass dieselben nichts Anderes bedeuten als Eigenschaften der Körper, deren Wesen uns vor der Hand noch unbekannt ist; und obgleich wir diesem unklaren Wesen eigentlich den Krieg erklärt haben, so werden die Ausdrücke doch noch lange in der Wissenschaft durchschlüpfen. Diese Worte haben keine andere Bedeutung, als dass sie unsere Unwissenheit verdecken; um es ein für allemal klar auszusprechen „sind sie nur die Wiederholung der Thatsachen in anderen conventionellen Ausdrücken“. Es ist unmöglich, dass wir uns von diesen Räthseln frei machen, bevor wir nicht die Constitution der Materie besser kennen gelernt haben; besonders ist es nothwendig, dass wir uns über den einen Hauptpunkt klar werden, ob es nämlich ausser dem Stoffe, der sich wägen und greifen lässt, noch ein anderes Mittel giebt, das bei der Thätigkeit der wägbaren Materie selbst mitwirkt. Dieser wichtigen Frage werden wir das nächste Buch widmen.

KAPITEL XV.

Rückblick auf das erste Buch und allgemeiner Schluss.

Auf den vorstehenden Seiten haben wir eine ziemlich grosse Zahl von Thatsachen entwickelt und sind auf mehrere derselben immer wieder zurückgekommen, indem wir dabei eher die analytische als die synthetische Methode anwendeten: dadurch ist es uns gelungen genügende Grundlagen aufzufinden, um das Wesen der physischen Kraft zu definiren, welche in uns die Empfindung der Wärme hervorbringt; wir haben diese Definition nicht aus einem a priori aufgestellten Begriffe abgeleitet, sondern lediglich aus den

einfachen Thatsachen. Der Satz, zu welchem wir in dieser Weise ganz von selbst geführt wurden, lautet: Die Wärme ist eine Art Bewegung des Stoffes; und da alle Körper Wärme enthalten, so müssen sich auch alle ihre Molecüle in beständiger Bewegung befinden, und diese Bewegung ist der Grund für die Thätigkeit, welche sich in dem Stoffe als Wärme äussert. Die handgreiflichsten Thatsachen haben uns gezeigt, dass gegenseitige Verwandlungen der mechanischen Bewegung in Wärme und umgekehrt stattfinden, und dass die Bewegungen, welche als fortschreitende Bewegungen endlicher Massen verschwanden, doch noch als Schwingungsbewegungen der elementaren Molecüle fortbestanden und umgekehrt. Der Weg, auf welchem man dieses gegenseitige Verhältniss zur Anschauung bringt, besteht gewöhnlich darin, dass man zeigt, wie die durch die innere moleculare Bewegung erzeugte Arbeit, die z. B. die Ausdehnung der Stoffe, besonders der Gase bewirkt, nutzbar gemacht wird um mittels unserer Maschinen bestimmte Massen zu bewegen: bei jeder solchen Umwandlung verschwindet eine der geleisteten Arbeit äquivalente Wärmemenge.

Welcher Art die Bewegung im Innern der Körper ist, das lässt sich den Sinnen nicht wahrnehmbar machen, da die Atome nicht sichtbar sind: aber die Zusammenstellung der Thatsachen zeigt, dass alle Theile der Materie in beständiger Bewegung sich befinden, indem sie bald geschlossene Bahnen durchlaufen, bald sich in unbegrenzten Linien bewegen, wie bei einer wirklichen Wurfbewegung; im Allgemeinen kann man annehmen, dass jedes Molecül gleichzeitig durch eine doppelte Bewegung erregt wird, nämlich durch eine fortschreitende und eine rotirende. Die Temperatur der Körper ist eine Erscheinung, welche von der Intensität des Stosses der Molecüle, also von ihrer Masse und Geschwindigkeit abhängt, sie wird gemessen durch die Ausdehnung der Körper, bei welcher sich die Theilchen derselben weiter von einander entfernen, also durch eine wirkliche Arbeit, die an ihnen verrichtet wird: und deshalb wird ihre Grösse auch durch die Hälfte der lebendigen Kraft bestimmt, welche das System belebt, wie bei allen übrigen mechanischen Arbeiten. Die Arbeiten selbst sind doppelter Art, innere und äussere: durch die innere Arbeit vergrössert sich das Volumen der Körper und trennen sic die Molecüle von einander, indem der innere Widerstand und, im Falle dass die Geschwindigkeit wächst, ihre Trägheit überwunden wird; durch die äussere Arbeit werden

die äusseren Hindernisse beseitigt, die sich der Ausdehnung entgegenstellen.

Die innere Arbeit befindet sich in immerwährendem Widerstreit mit den Banden, welche die Theile der Körper an einander fesseln; und welches auch die Natur dieser Bande sei und durch welche Ursache sie auch erzeugt werden, so sind die Wirkungen, welche durch die Wärme hervorgebracht werden, immer proportional der Arbeit, die geleistet werden muss um sie zu überwinden, und damit der Bewegung, die dem Körper ertheilt wird, wenn wir dieselbe nach ihrer lebendigen Kraft bemessen.

Die Theorie, nach welcher die Wärme als Bewegung anzusehen ist, erklärt in genügender Weise die Entstehung der verschiedenen Zustände der Körper und die Erscheinungen, welche ihre Umwandlung begleiten, und wir brauchten für die Absorption der Wärme, welche in diesen Fällen öfters eintritt, keinen andern Grund aufzusuchen als die Verwandlung der Bewegung, die aufgebraucht wird, bald um die nicht freien Atome von einander weiter zu entfernen, bald um sie mit einer Kraft zu begaben, die sie mehr oder weniger beschränkte Bahnen durchlaufen lässt: umgekehrt verwandelt sich jene virtuelle Energie der Bewegung in actuelle Energie, wenn der Wechsel des Aggregatzustandes im entgegengesetzten Sinne erfolgt.

Als wir die Gesetze untersuchten, nach welchen der Austausch der Wärme durch die verschiedenen Substanzen hindurch erfolgt, so zeigte sich eine überraschende Uebereinstimmung in den Wärmemengen, welche erforderlich waren, um in Massen, die im Verhältniss der chemischen Aequivalente standen, gleiche Spannung hervorzubringen: hieraus wurden wir auf den Schluss geführt, dass die freien und isolirten Atome gleiche Empfänglichkeit für die Bewegung haben müssen, und dass auch für sie das allgemeine mechanische Gesetz für den Austausch der Bewegung, nach welchem die Geschwindigkeit der Masse umgekehrt proportional ist, seine volle Gültigkeit besitzt. Damit sahen wir, dass die Vorstellung, die wir über die Ausdehnsamkeit der Gase gefasst hatten, sich bestätigte, und weiter zeigte sich der enge Zusammenhang, in welchem die mechanische Theorie mit den physischen Eigenschaften der Körper steht. Dadurch ist ein weites Feld der Untersuchung denen eröffnet, welche den Weg weiter verfolgen wollen, den diese Theorie vorzeichnet: eine Theorie, durch welche eine grosse Zahl der mole-

cularen Eigenschaften der Körper sich unter einem neuen Gesichtspunkte zeigt. Die verschiedenen Lücken, die wir angetroffen haben, werden hoffentlich bald durch den Eifer der Experimentatoren ausgefüllt sein: diese Lücken nachzuweisen ist eins der Ziele, welche das gegenwärtige Werk verfolgt.

Bis hierher war alles unabhängig von der Quelle, aus welcher die Wärme stammte, und es war durchaus unwesentlich, wenn man in jedem einzelnen Falle annahm, dass sie durch mechanische Mittel erzeugt war: aber sehr häufig ensteht dieses Agens durch eine ganz andere Ursache, nämlich durch chemische Verbindung, und so musste uns das Studium der Verhältnisse der Kräfte nothwendig auf die Untersuchung der Beziehungen führen, welche zwischen der Temperatur und der chemischen Kraft, durch welche jene erzeugt wird, bestehen. Auch hier haben wir zwei wichtige Gesetze erkannt, nämlich, dass dieselbe Menge chemischer Thätigkeit immer eine gleiche Wärmemenge erzeugt, und dass ein strenges Verhältniss besteht zwischen den Aequivalenten in den verschiedenen Ordnungen der Verbindungen und der Menge der erzeugten Wärme. So unvollkommen unsere Kenntniss dieser Gesetze auch noch ist, so zeigen sie doch, dass auch die chemischen Thätigkeiten einem mechanischen Gesetze unterworfen sind, welches recht wohl aus der Vereinigung verschiedener Massen abgeleitet werden kann, wenn dieselben, mit gleicher Bewegungsgrösse begabt, sich bei ihrem Zusammenstosse aus Mangel an Elasticität mit einander vereinigen und dadurch eine bestimmte Menge lebendiger Kraft disponibel wird.

Um daher alle Erscheinungen der Wärme zu erklären genügt die Trägheit und der mechanische Stoss: selbst die elastischen Kräfte, die wir als secundäre Kräfte durchaus nicht verwerfen dürfen, sind nicht primitive Kräfte, da wir gezeigt haben, dass sich die Erscheinungen der Elasticität dadurch erklären lassen, dass wir für die Atome eine Rotationsbewegung voraussetzen. Damit glauben wir unsere Aufgabe gelöst zu haben, die darin bestand zu zeigen, *dass sich die Erscheinungen der Wärme auf einen einfachen Austausch der Bewegung zurückführen lassen, und dass zu ihrer Erklärung das Zurückgehen auf ein anderes Princip nicht nothwendig ist.*

Diese Theorie ist vollständig unabhängig von jeder Ansicht über die Kraft, durch welche die Molecüle an einander haften und

welche der Wärme entgegen wirkt: noch kann dieser Zusammenhalt durch zwei verschiedene Hypothesen erklärt werden, nämlich entweder durch eigenthümliche Kräfte, die den Atomen innewohnen, oder auch durch die Einwirkung eines sie umgebenden Mittels. Die erste Hypothese ist bei weitem bequemer, da sie sich nicht der Mühe unterzieht das Wesen dieser Kräfte eingehender zu untersuchen, sondern sie als Thatsachen hinstellt, die sich in jedem einzelnen Falle geltend machen: die andere dagegen sucht diese Thatsachen aus den physischen Gesetzen der Bewegung abzuleiten. Welche von diesen beiden Hypothesen man auch annehme, so behält die mechanische Wärmelehre doch ihre Gültigkeit, da sie sich nur auf den Austausch der Bewegungen gründet. Noch unabhängiger ist diese Theorie von metaphysischen Ideen höherer Ordnung, durch welche man die Grunderscheinung der Mittheilung der Bewegung hat erklären wollen: wir überlassen diese Erklärung denen, die sich geschickter dazu fühlen, die Thatsachen durch das Prisma der theoretischen Speculation zu betrachten. Sollte Jemand der Meinung sein, dass unsere Theorie die Ansichten gewisser Schulen umstösst, so erklären wir, dass wir uns nicht bewogen fühlen diese Doctrinen zu unterstützen, sondern dass wir diese Pflicht ihren Vertheidigern überlassen.

Es möge uns gestattet sein hier eine kleine Bemerkung einzuschalten: wenn man beachtet, welche grosse Menge von Thatsachen gesammelt und zurecht gelegt werden musste, ehe man die wenigen Schlüsse ziehen konnte, zu denen wir bisher gelangt sind, so muss man sich wenigstens über die Kühnheit (um nicht noch einen andern Ausdruck zu gebrauchen) wundern, mit welcher Manche die physikalischen Fragen durch Theorieen a priori zu entscheiden suchen, und zugleich muss diese Ueberlegung die Physiker bei ihrem mühsamen Ringen ermuthigen, durch welches sie die Wahrheit auf dem Wege des langsamen und mühevollen Experimentes zu ergründen suchen. Die Früchte, welche sie dabei pflücken, und die noch reicheren, auf welche sie hoffen, müssen sie in ihrem Streben stärken und sie ermuthigen, mit Uebergehung aller Speculationen die Ergebnisse der Versuche zu erwarten, und sich mit jenen nur in soweit zu beschäftigen, als es nöthig ist um die Lücken zu erkennen, welche in den Arbeiten ihrer Vorgänger verblieben sind.

Will man die Untersuchungen über das Verhältniss der Wärme

zu den anderen Kräften der Materie noch weiter treiben, so sieht man sich durch nicht geringe Schwierigkeiten betreffs gewisser Punkte aufgehalten, die aus der Unkenntniss erwachsen, in welcher uns jene Theorie noch über der Constitution des Körpers lässt. So haben wir mehrmals schon das Bedürfniss gefühlt zu fragen, worin jene gegnerischen Kräfte bestehen, die das Band der Körper bilden, um dadurch vollständig die Art kennen zu lernen, wie die Wärme selbst wirkt. Solche Nebel können sich nicht zerstreuen, ohne dass ein Studium der anderen Naturkräfte vorausgeht, und vor allen Dingen ist es unumgänglich nothwendig zu wissen, ob es ein Mittel giebt, welches überall wirksam ist, in welches alle Körper eingetaucht sind, und wie dieses Mittel bei den Erscheinungen mitwirkt, die uns die Natur darbietet.

Die Lösung dieser Frage hängt von der Untersuchung der Erscheinungen des Lichtes und der Elektricität ab: durch sie wird die mechanische Wärmelehre eine neue Stütze erhalten, welche noch kräftiger ist, als die aus dem einfachen Studium des mechanischen Aequivalentes abgeleitete. Denn wenn wir durch dasselbe erfahren haben, dass die Wärme nur eine Umwandlung der Bewegung ist, so ist damit noch nicht gezeigt, auf welche Weise dieselbe erfolgt. Man könnte sogar einwenden: so wie das Geld, mit welchem ein Arbeiter bezahlt wird, und die Zeit, während welcher er arbeitet, zwar in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen, aber doch nicht eigentlich identisch sind, so dass man nur scherzweise sagen darf: Zeit ist Geld, ebenso darf die Wärme nicht schlechtweg als eine Bewegung angesehen werden, trotz des erwähnten Aequivalentes, solange die klare Vorstellung fehlt, wie die physikalische Thatsache der Verwandlung verschiedenartiger Bewegungen vor sich geht.

Die Entdeckung des mechanischen Aequivalentes der Wärme hat in empirischer Weise die Erhaltung der Bewegung und der Kraft bewiesen: durch die Versuche ist die Unzerstörbarkeit der Kraft in derselben Weise nachgewiesen worden, wie die Entdeckungen Lavoisier's zeigten, dass der Stoff unzerstörbar ist. Dadurch ist für die mathematische Analysis eine sichere Basis gewonnen worden, von welcher man ausgehen und auf welche man Formeln aufbauen kann; und die Entwickelung dieser Formeln hat zu praktischen Resultaten geführt, durch welche die Richtigkeit des Principes auch in den Fällen bewiesen wurde, in welchen es nicht direct durch den

Versuch bestätigt werden konnte: gewiss einer der grössten praktischen Vortheile der Mathematik. Diese theoretischen Arbeiten sind eins der schönsten Denkmäler, welche sich die mathematisch-physikalische Wissenschaft unserer Tage gesetzt hat: sie wetteifern an Wichtigkeit mit denen der Mechanik des Himmels, der Optik und der Elektrodynamik; in diesem Werke können wir uns freilich auf die mathematische Entwickelung nicht einlassen.

Keine Ansicht ist so allgemein verbreitet, als die, dass die Kräfte der Natur verschwinden, während sich doch blos die Form ihrer Thätigkeit ändert: wird z. B. ein Körper in ein Gefäss mit Wasser getaucht und verliert er dabei so viel an seinem Gewichte, als das von ihm verdrängte Wasser wiegt, so scheint es, als habe die Schwerkraft etwas von ihrer Gewalt eingebüsst; allein dies würde ein Irrthum sein: denn wenn der Körper jetzt für den Arm, der ihn hält, ein geringeres Gewicht besitzt, so hat dafür das Gefäss mit Wasser, in das er taucht, um genau dieselbe Grösse an Gewicht zugenommen, wie man leicht durch einen Versuch bestätigen kann. Ebenso, wenn das Quecksilber, das in der Röhre eines Barometers steht, nicht auf den Boden des Gefässes drückt, so belastet es durch sein Gewicht die Stütze, an welcher die Röhre befestigt ist, wie sich am Wage-Barometer zeigt: beim Giroskop und beim Kreisel bewirkt die Schwerkraft nicht, dass die Körper umfallen, sondern sie verursacht die sogenannten Präcessionsbewegungen. Wenn daher die Kräfte der Natur für den Unkundigen ihre Wirksamkeit zu verlieren scheinen, so haben sie sich in der That nur verwandelt, und es ist Aufgabe der Wissenschaft zu untersuchen, wie dies geschehen ist.

Was nun die Vorstellungen anlangt, die wir uns vom Wesen der Wärme zu machen haben, so sind uns darüber viele Aufklärungen geworden durch die Beobachtungen über die Erscheinungen des Lichtes, welches die denkenden Geister über das Wesen dieser Naturkräfte ebenso erhellt hat, wie es den Augen des Körpers gestattet die Thatsachen zu erkennen: mit ihm wollen wir uns jetzt beschäftigen.

ZWEITES BUCH.

DAS LICHT.

ZWEITES BUCH.

DAS LICHT.

Einleitung.

Es wird uns niemals gelingen die Natur vollständig kennen zu lernen, wenn wir uns nicht eine genaue Vorstellung machen von denjenigen materiellen Elementen, welche bei den Erscheinungen mitwirken, die wir zu erklären beabsichtigen. Nun giebt es unter diesen Elementen einige, welche sich unserer Wahrnehmung entziehen, so lange wir unsere Sinne in gewöhnlicher Weise anwenden, d. h. so lange wir nur die Eindrücke des Gesichts- und Tastsinnes zu Rathe ziehen, oder höchstens den Widerstand, auf den wir stossen, berücksichtigen; und doch ist es unmöglich über die Thatsachen Rechenschaft zu geben, wenn wir jene Elemente unberücksichtigt lassen. Wie lange Zeit ist z. B. der Einfluss der Luft unbekannt geblieben, von deren Existenz man nicht einmal etwas wusste, so leicht sich dieselbe auch nachweisen lässt. Daher war es bei dieser Unkenntniss unmöglich irgend einen Vorgang in der Atmosphäre zu erklären, und deshalb sahen sich die Völker, so lange ihnen diese Kenntnisse noch fehlten, genöthigt die Erscheinungen auf übernatürliche Ursachen zurückzuführen, welche ihnen der Aberglaube an die Hand gab. Eine ähnliche Unvollkommenheit des Wissens besteht auch jetzt noch in der Wissenschaft bezüglich des unwägbaren Mittels, welches allenthalben verbreitet ist und alle Körper in sich einschliesst.

Auf tausend Arten macht sich dieses Mittel bemerklich, und doch scheint es, als hätte sich die menschliche Wissenschaft viel häufiger bemüht dasselbe zu verkennen, als seine Existenz in klares

Licht zu stellen: die Zweifel, welche dagegen erhoben wurden, sind so zahlreich, dass man ihm die Existenz vollständig abgesprochen hat; und wie viele Gelehrte bemühen sich auch heute noch seine Mitwirkung in einer Menge von Fällen zu leugnen, bei denen es irgendwie entbehrt werden kann! Allein, so wie es unmöglich ist, die alltäglichsten Erscheinungen der Meteorologie zu erklären ohne die Anwesenheit der Luft anzunehmen, ebenso und in noch höherem Grade muss es unmöglich sein, die Erscheinungen der materiellen Welt und das Spiel der Kräfte, die das Getriebe der Welt im Gange erhalten, zu erklären, ohne jenes Agens, welches überall eindringt und überall mitwirkt, zu erkennen und zu erforschen. Wohl könnten wir getrost die Erforschung der Natur unter der Voraussetzung der Existenz dieses Mittels unternehmen und die Einwirkung desselben auf die physikalischen Vorgänge untersuchen: allein, da von gewichtiger Seite Widerspruch gegen dasselbe erhoben worden ist, so ist es unsere Pflicht hier erst diejenigen Thatsachen auseinander zu setzen, welche für seine Existenz sprechen. Zunächst müssen wir darauf aufmerksam machen, dass es noch nicht genügt ein Mittel irgend welcher Art vorauszusetzen, das nur deshalb angenommen wird, weil man unmöglich zugeben kann, dass sich im Weltenraume eine absolute Leere befindet: sondern dieses Mittel muss auch geeignet sein alle Forderungen der Natur zu befriedigen und darf nicht die ausschliessliche Erklärung einer einzigen Classe von Erscheinungen ermöglichen. Deshalb darf man nicht die Ansicht derer gelten lassen, welche die Existenz eines solchen Mittels nur für den leeren Raum annehmen, das Eindringen desselben in das Innere des Körpers aber leugnen, so dass es für die Erklärung der Constitution der Materie gar nicht existiren würde und eben so wenig für diejenigen Erscheinungen vorhanden wäre, welche von seiner Beziehung zur wägbaren Materie, die im gewöhnlichen Sinne den Raum erfüllt, abhängen.

Es darf daher nicht Wunder nehmen, dass man bei der Erklärung der Naturerscheinungen auf so viele Schwierigkeiten gestossen ist, weil man gar zu hartnäckig sich gesträubt hat den gewaltigen Einfluss dieses universellen Mittels anzuerkennen; höchstens verstand man sich dazu, dass man seine Existenz zugab, ihm aber jede Thätigkeit, jeden weiteren Einfluss absprach, ausgenommen bei einigen speciellen Erscheinungen wie z. B. bei denen des Lichtes: für alle anderen Vorgänge war es sozusagen nur ein Hinderniss.

Die Aufgabe dieses zweiten Buches wird sein zu zeigen: 1) welche Erscheinungen die Existenz dieses Mittels beweisen; 2) welche allgemeine Verbreitung man ihm beilegen muss; 3) welchen Antheil es hat, nicht nur bei der Erklärung der Thatsache, für welche seine Existenz zuerst vorausgesetzt wurde, sondern auch für die Anschauung über die innere Constitution der Körper; 4) welchen mechanischen Veränderungen es unterworfen werden kann.

Wie alle anderen Flüssigkeiten wird es sowohl oscillirende als auch fliessende Bewegungen ausführen können: bei den ersten Bewegungen, bei denen die Ausweichungen als ausserordentlich kleine Grössen angesehen werden können und immer innerhalb der Grenzen der Elasticität enthalten sind, lassen sich dieselben Principien anwenden, wie in der Lehre vom Schalle; ausserdem kann das Mittel aber auch noch andere Bewegungen ausführen, bei denen die Elasticitätsgrenze überschritten wird und eine unbeschränkte Wanderung der Masse erfolgt. Diese letzteren Bewegungen bringen Erscheinungen hervor, für welche man bisher einen besonderen Grund annahm, indem man sie als die Wirkungen einer eigenartigen Flüssigkeit, der Elektricität, angesehen hat. Diese zweite Art von Erscheinungen werden wir im nächsten Buche entwickeln: im vorliegenden sprechen wir nur von den ersten, den oscillirenden Bewegungen. Durch dieselben entsteht das, was man Strahlung nennt, besonders die Strahlung des Lichtes und der strahlenden Wärme, auf welche wir jetzt übergehen.

KAPITEL I.

Grunderscheinungen der Strahlung; Verschiedenheit der Strahlen.

Lange Zeit hat man das Licht nur als ein Agens angesehen, das lediglich dazu bestimmt ist Menschen und Thiere durch den Gesichtssinn mit der Aussenwelt in Verbindung zu setzen; jetzt dagegen hat man erkannt, dass es eine der wirksamsten Naturkräfte ist. Während man es früher bald mit der strahlenden Wärme, die ihm in der Regel beigemischt ist, identificirte, bald wieder von ihr unterschied, hat man schliesslich erkannt, wie weit sich seine wärmende und wie weit sich seine leuchtende Thätigkeit erstreckt,

wozu endlich noch seine chemische Wirksamkeit kommt. Drei Jahrhunderte waren verflossen von der Zeit an, in welcher zuerst G. B. Porta durch Linsen die vergänglichen Bilder in der Camera obscura erzeugte, bis zu der Zeit, wo es Daguerre gelang dieselben auf Silberplatten festzuhalten; durch diese überraschende, an wichtigen Resultaten reiche Entdeckung wurde es im hohen Grade klar, wie stark und allgemein verbreitet die Wirksamkeit dieses Agens ist, dessen Einfluss auf die Pflanzenwelt kaum ein Jahrhundert zuvor von den Botanikern aufgefunden worden war. Und weiter hat man erkannt, dass aus den Strahlen, die vom Centralkörper unseres Systemes ausgesendet werden, vermöge ihrer Wirkung auf die Materie eine Quelle von Kraft entspringt, welche dem Menschen zur freien Verfügung gestellt ist.

Wenn unsere Schiffe, getrieben durch die Kraft des Windes, die Meere durchfurchen, so hat jene Kraft ihren Ursprung in den Strahlen der Sonne, welche unsern Luftkreis in Bewegung erhalten; wenn die Wasserläufe unsere Mühlenwerke treiben und das Leben der Pflanze durch ihre wohlthätige Feuchtigkeit erhalten, so verdanken wir dies den Strahlen der Sonne, die durch ihre Kraft das Wasser des Meeres in Dampf verwandeln, welcher sich dann in den höheren Luftschichten wieder verdichtet, von wo aus es als befruchtender Regen herabfällt; wenn uns aus der Gewalt des Feuers in unseren calorischen Maschinen eine bedeutende Macht erwächst, so ist auch dies nur eine Wirkung der Strahlen der Sonne, welche den Kohlenstoff in den Pflanzen ausscheiden und uns dadurch ungeheure Vorräthe von Kraft aufspeichern. Auch das wirksamste Mittel, um die widerspenstigsten Stoffe in ihre Bestandtheile aufzulösen, welches die Wissenschaft lange Zeit besass, bestand in der Ansammlung der Sonnenstrahlen im Brennpunkte der Linsen und Hohlspiegel.

Von welcher Wichtigkeit die Strahlungen im Haushalte der Natur sind, zeigt sich in noch viel höherem Grade, wenn man sie im Vergleich mit den anderen Naturkräften betrachtet: und das Princip, von welchem sie abhängen, gewinnt täglich mehr an Einfluss bei der Betrachtung des Mechanismus der Schöpfung; immer mehr bestätigt sich, was schon Kepler in unbestimmten Umrissen andeutete, dass sich alle Erscheinungen im Weltall auf das Princip zurückführen lassen, das wir als das Princip des Lichtes bezeichnen. Uns wird es ganz besonders als Werkzeug dienen, durch welches

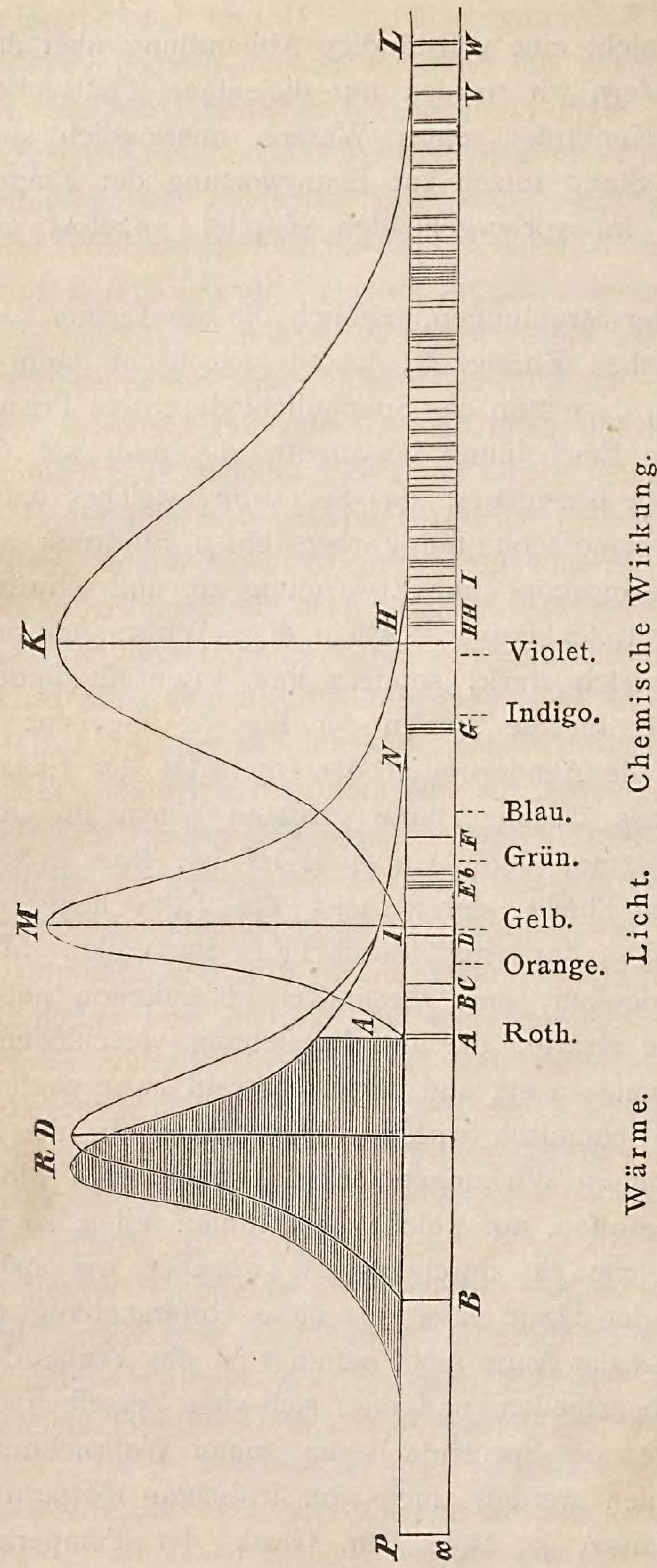
wir die innere Beschaffenheit der Körper zu erklären suchen werden, und hauptsächlich aus diesem Gesichtspunkte wollen wir jetzt sein Wesen untersuchen.

Wir beabsichtigen nicht eine vollständige Abhandlung über das Licht zu schreiben, sondern wir werden nur diejenigen Thatsachen berühren, welche zur Kenntniss seines Wesens unerlässlich sind und welche uns in den Stand setzen zur Beantwortung der Fragen vorzuschreiten, die wir im vorhergehenden Kapitel ungelöst gelassen haben.

Die drei Formen der Strahlungen, nämlich die des Lichtes, der Wärme und der chemischen Thätigkeit, lassen sich leicht dadurch zur Anschauung bringen, dass man das Sonnenlicht durch ein Prisma zerlegt und dadurch die Erscheinung hervorruft, die man als die Dispersion der Strahlen bezeichnet: das Spectrum, welches dabei entsteht, macht durch seine lebhaften Farben einen Eindruck auf das Auge, zeigt am Thermoscope eine Erwärmung an, und schwärzt ein mit Chlorsilber getränktes Papier. Allein diese Wirkungen sind nicht in allen Theilen gleich stark, sondern ihre Intensität ändert sich in dem Grade, wie ihn die Curven der Fig. 12 angeben: so stellt die Curve AMH die Aenderungen der Intensität des Lichtes dar, und man sieht, dass dieselbe ihren grössten Werth im Gelb hat; ebenso hat die Wärme, deren Curve BDN ist, ihre grösste Stärke in dem dunkeln Theile, der jenseits des Roth liegt, die chemische Thätigkeit aber, dargestellt durch IKL, im Violet. Man darf dabei aber nicht denken, dass diese drei Thätigkeiten neben einander herlaufen, wie Kräfte, die ihre Entstehung verschiedenen Principien verdanken: sondern ein und derselbe Strahl kann zugleich leuchten, wärmen und chemisch wirken. Die Curven für die Intensitäten der verschiedenen Wirkungen erleiden mancherlei Modificationen je nach den Stoffen, auf welche die Strahlen fallen, so wie nach den Mitteln, welche sie durchdringen, worüber wir später sprechen werden; vor der Hand lässt uns diese Untersuchung unmittelbar erkennen, dass das Auge nicht befähigt ist das Vorhandensein aller Strahlen zu beurtheilen, und dass sich viele derselben, die jenseits der beiden Enden des Spectrum liegen, seiner Wahrnehmung entziehen. Diese Strahlen werden auch von irdischen Körpern in verschiedenem Verhältnisse, je nach dem Grade der Temperatur ausgesendet: so giebt das elektrische Bogenlicht, welches unter allen künstlichen Quellen die grösste Intensität besitzt, ein Spectrum, das

noch reicher ist als das Sonnenspectrum; in der nachstehenden Figur zeigt die Linie PRN die Intensität der Wärmestrahlen in jenem Lichte, und man erkennt, dass sich diese Strahlen noch weiter in den dunkeln Raum hinein ausbreiten als die der Sonne: eine Wahrnehmung, die sich in gleicher Weise für die chemischen Strahlen jenseits des Violet wiederholt. Damit ist nicht gesagt, dass diese äussersten Strahlen im Lichte der Sonne fehlen, sondern sie werden nur beim Durchgange durch die Atmosphäre absorbirt.

Fig. 12.



Für die drei Arten von Strahlen besteht kein Unterschied ihrem Wesen nach, sondern nur bezüglich des verschiedenen Grades der Wirksamkeit: wird irgend ein Körper erwärmt, so sendet er zuerst nur dunkle Wärme aus, je mehr aber seine Temperatur steigt, desto mehr beginnt er zu leuchten, d. h. seine Strahlen fangen an die Netzhaut zu reizen, wenn die Temperatur ungefähr 600° beträgt, und werden für die chemische Thätigkeit um so wirksamer, je intensiver die Tempe-

ratur selbst und die Leuchtkraft wird, so dass die Lichter elektrischen Ursprungs die wirksamsten sind, indem durch sie die Temperatur die bedeutendste Erhöhung erfährt. Unter den unendlich mannigfaltigen Formen, die der Schöpfer seinen Werken gegeben hat, finden wir auch die eigenthümliche Erscheinung, dass gewisse niedere Thiere mit dem Vermögen ausgerüstet sind ein schwaches Licht auszusenden, welches keine Wärmestrahlen zu enthalten scheint: allein wir werden sehen, dass auch diese Strahlen keine Ausnahme von der allgemeinen Regel machen, ausgenommen durch die geheimnissvolle Weise, wie sie erweckt werden.

Die Strahlungen folgen von einem Ende des Sonnenspectrum bis zum andern nicht streng nach dem Gesetze der Stetigkeit. Als Newton den alten Versuch wiederholte, bei welchem das Sonnenlicht durch ein Prisma zerlegt wird[1]), fand er, dass die einzelnen Strahlen, die aus dem Prisma hervorgingen, nicht weiter zerlegt werden konnten; Wollaston aber zeigte, dass die Strahlen in den einzelnen Farben Unterbrechungen der Stetigkeit zeigen, und Fraunhofer bestimmte die Lage der dunklen Streifen, die seinen Namen führen. Als man weiter das Licht mit den neuen kolossalen spectroskopischen Instrumenten, die mit mehreren Prismen versehen sind, bis in die feinsten Strahlen zerlegte, hat sich gezeigt, dass jene Streifen Lücken sind, deren Zahl der Zahl der Sterne am Himmel gleich kommt. Die Untersuchungen der Spectren haben weiter gezeigt, dass die Lichtstrahlen, welche unsere irdischen Lichtquellen bei der Verbrennung aussenden, ziemlich spärlich sind gegenüber den Strahlen des Sonnenlichtes: das Licht des elektrischen Funken und jedes andere künstliche Licht löst sich durch das Spectroskop betrachtet in einige glänzende Linien auf, die durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind, welche viel breiter sind, als die Lücken im Sonnenspectrum. Aehnliche Unterbrechungen hat man auch im Lichte der Sterne aufgefunden, wie überhaupt überall da, wo die Erhöhung der Temperatur nicht bloss die Körper zum Glühen bringt, sondern bewirkt, dass sie sich chemisch verbinden. Auch für die chemischen Strahlen sind solche Unterbrechungen in

[1]) Newton war nicht der Erste, der diesen Versuch anstellte, wie Manche glauben, denn schon mehrere Jahre vor ihm nannte Grimaldi jenes Experiment ein genügend wiederholtes, satis tritum: Newton hat das Verdienst, dass er nachwies, dass die einmal zerlegten Strahlen durch ein zweites Prisma nicht von Neuem zerlegt werden können. S.

der Stetigkeit aufgefunden worden, welche mithin nicht als rein optische Wirkungen anzusehen sind, und endlich ist es auch vor Kurzem gelungen sie zwischen den thermischen Strahlen nachzuweisen, was nur durch die ausserordentliche Feinheit der Apparate möglich gemacht wurde. Untersucht man dagegen die Strahlen, die von nur glühenden, also nicht bis zum Verbrennen erhitzten Körpern ausgehen, so zeigen diese die bemerkenswerthe Eigenschaft, dass sie keine Lücken zwischen sich besitzen: solche Körper senden also Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit aus.

Die Vertheilung der Strahlen im Spectrum, welches sich beim Durchgange durch ein Prisma bildet, wird von zwei Ursachen bedeutend beeinflusst, nämlich einmal von der ungleichen zerstreuenden Kraft, welche die durchsichtigen Körper für die Strahlen von verschiedener Brechbarkeit besitzen, dann aber auch von der absorbirenden Thätigkeit des Mittels, aus welchem das Prisma besteht. Die erste Ursache bewirkt, dass die Strahlen auf der Seite des rothen Lichtes sehr stark zusammengedrängt sind, während sie sich auf der violetten Seite viel weiter ausbreiten, und daher liegt auch der Theil, der dem Auge am hellsten erscheint, nicht in der Mitte. Eine gleichmässige Vertheilung jener Farben findet dagegen aus Gründen, die wir hier nicht entwickeln können, in den Spectren statt, welche durch Beugung der Lichtstrahlen mittels der Gitter erzeugt werden: bei ihnen liegt die hellste Farbe in der Mitte und von ihr aus hat das Spectrum nach beiden Seiten hin gleiche Ausdehnung; dass der Unterschied zwischen dem durch Strahlenbrechung und dem durch Beugung erzeugten Spectrum nur darin besteht, dass bei ersterem durch die Einwirkung des Prisma die einzelnen Theile verzerrt erscheinen, hat Mossotti nachgewiesen [1]).

Bis zu welchen Grenzen sich die beiden Enden des Spectrum erstrecken, hängt sehr von der Natur des Prisma ab, welches die verschiedenen Strahlen in ungleichem Grade absorbirt: bei einem Prisma aus gewöhnlichem Glase zeigt sich die grösste Wärme im Roth, bei einem Prisma aus Wasser im Gelb, aus Flintglas jenseits des Roth; besteht endlich das Prisma aus Steinsalz, so findet man das Maximum der Wärme weit jenseits des rothen Lichtes in dem dunkeln Raume, der demselben vorangeht. Diese Abweichungen liessen sich nicht

[1]) Mossotti, Sulle proprietà degli spettri di Fraunhofer formati dai reticoli. Pisa 1845. S.

erklären, bis Melloni zeigte, dass verschiedene Stoffe, trotzdem dass sie für die Lichtstrahlen vollständig durchsichtig sind, für die dunkeln Wärmestrahlen eine absorbirende Kraft besitzen und also ganz ähnlich wirken, wie farbiges Glas auf die Lichtstrahlen: in derselben Weise, wie sich das Maximum der Intensität des Lichtes an verschiedenen Stellen zeigt, wenn dasselbe durch ein rothes oder durch ein grünes Prisma gebrochen wird, tritt eine gleiche Erscheinung für die Wärmestrahlen ein, und die einzige Substanz, welche gleichsam keine Färbung für die Wärme besitzt, ist das Steinsalz. Eingehende Untersuchungen, welche derselbe Physiker über das Spectrum anstellte, haben ihm gezeigt, dass das Maximum der Intensität der Wärme bei einem Prisma aus dem genannten Stoffe immer auf der Seite des Roth und häufig in ziemlich grosser Entfernung liegt: für die Sonnenwärme fällt dieses Maximum in den dunkeln Raum in eine Entfernung von dem farbigen Spectrum, die ungefähr ebenso gross ist, als der Abstand des Gelb vom Roth; beachtet man hierbei noch, dass die Strahlen in diesem Theile des Spectrum viel dichter zusammengedrängt sind, so ist dieses Maximum vom Gelb mindestens ebenso weit entfernt, als andrerseits die äussersten chemischen Strahlen; auch bis ins Violet hinein erstrecken sich die Wärmestrahlen ebenso, wie andrerseits die chemischen Strahlen bis mindestens zum Gelb reichen. In der letzten Zeit hat Draper gezeigt, dass, wenn er in geeigneter Weise die farbigen Strahlen, welche den brechbareren Theil des Spectrum bilden, sammelte, er dieselbe Temperatur erhielt, als wenn er die Strahlen sammelte, die auf der Seite des Roth liegen und dort viel dichter zusammengedrängt sind: hieraus geht hervor, dass auch der brechbarere Theil des Spectrum Wärme besitzt, welche aber nicht so leicht nachgewiesen werden kann, weil sich die Strahlen über einen grösseren Raum zerstreuen; nach dem genannten Physiker ist die Wärmemenge in den beiden Hälften des Spectrum dieselbe.

Hieraus folgt, dass die wärmende Kraft wirklich über das ganze Spectrum vertheilt ist und dass alle Strahlen dieselbe besitzen; da aber diese Strahlen im hohen Grade von den Körpern absorbirt werden, und zwar nicht alle in demselben Verhältnisse, so zeigt sich die Intensität der Wärme in den verschiedenen Theilen des Spectrum sehr stark modificirt. Unter den Körpern, welche die Wärmestrahlen absorbiren, stehen nun die Luftarten, aus denen die Atmosphären der Erde und Sonne bestehen, oben an, und besonders der Wasser-

dampf hat eine sehr grosse, absorbirende Kraft[1]), so dass die Sonnenstrahlen aller der Elemente beraubt sind, die von den dunkeln Körpern von niedriger Temperatur ausstrahlen, bevor sie zu uns gelangen; sind dagegen diese Elemente in der Strahlung enthalten, so wächst das Wärmespectrum nach der dunkeln Seite hin, und es ist durch Versuche bewiesen worden, dass die Wärme, die vom siedenden Wasser ausstrahlt, bedeutend weniger gebrochen wird, als die dunkeln Wärmestrahlen des Sonnenspectrum.

Etwas Aehnliches gilt auch für die chemischen Strahlen: ihre Menge und Ausdehnung, wie auch die Lage ihres Maximum sind von der Natur des Prisma und von der Beschaffenheit des Stoffes, auf welchem sie auftreffen, ebenfalls abhängig. Die grösste Ausdehnung hat das chemische Spectrum bei einem Prisma aus Quarz, und man kann, wenn man ein solches anwendet, auf photographischem Papier Zersetzungen noch an Stellen erhalten, die vom äussersten Violet ebenso weit abstehen, als die Länge des ganzen sichtbaren Spectrum beträgt[2]). Für gewöhnlich sind diese Strahlen dem Auge nicht sichtbar, sie werden es aber sofort, wenn man das Spectrum auf einem Papiere, das mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin mit etwas freier Schwefelsäure, oder mit einem Aufguss von der Rinde der Rosskastanie getränkt ist, oder auf Uranglas auffängt. Auch die Strahlen auf der Seite des Roth bringen chemische Wirkungen hervor, wie Draper bewiesen hat, wenn auch nicht bei allen Präparaten mit derselben Leichtigkeit und Intensität, wie die violetten Strahlen. Diese Thatsachen beweisen, dass die einzelnen Stoffe nicht in gleichem Grade befähigt sind den Einwirkungen der Strahlen von verschiedener Brechbarkeit Folge zu leisten: es besteht eine vollständige Analogie zwischen ihnen und den Erscheinungen des Lichtes; auch ein gefärbtes Stück Zeug leuchtet nur in dem Theile des Spectrum, dessen Licht mit seiner Farbe übereinstimmt, während es im Lichte von entgegengesetzter Färbung dunkel erscheint oder gar nicht sichtbar ist[3]).

[1]) Nach Prof. Garibaldi absorbirt der Wasserdampf 7937 mal so viel Wärme als die atmosphärische Luft. S.

[2]) S. Bunsen und Roscoe, Philos. Trans., 1859, II. S.

[3]) Dass die Sonnenhitze ganz anders wirkt, als die Wärme, die einer gewöhnlichen Wärmequelle entstammt, wissen auch Leute, die nur geringe physikalische Kenntnisse besitzen. Eines Tages sah ich, wie ein englischer Maschinist, der gewöhnt war vor der Feuerung der Schiffsmaschine zu stehen,

Aus allen diesen Thatsachen geht unwiderleglich hervor, dass der Unterschied, den man bisher zwischen den einzelnen Arten von Strahlen machte, nur von der verschiedenen Empfänglichkeit der Stoffe herrührt, auf welche sie einwirken, und nicht in ihrer eigenen Natur begründet ist; dass für alle ein und dasselbe Princip gilt, dass sich dasselbe aber als leuchtende Kraft äussert, wenn die Schwingungen solcher Art sind, dass sie auf unsere Netzhaut wirken, als chemische Thätigkeit, wenn Strahlen auf Stoffe treffen, welche durch sie zersetzt werden, dass es aber ganz allgemein in jedem Falle eine Erhöhung der Wärme bewirkt. Wenn man gemeint hat, dass es Lichtquellen gebe, welche durchaus keine Wärme liefern, so ist dies ein Irrthum, der durch die geringe Empfindlichkeit unserer Instrumente herbeigeführt worden ist: denn Licht und Wärme sind unzertrennlich, und das Licht besteht nur, wie Melloni sagt, „in einer gewissen Reihe von Wärmestrahlen, für welche unser Gesichtssinn empfindlich ist, und umgekehrt sind die dunkeln Wärmestrahlen (oder auch die chemischen Strahlen) Lichtstrahlen, für welche unserem Auge die Empfindung mangelt.“ Für die chemischen Strahlen ist der Nachweis dadurch geführt worden, dass man nur mittels dieser Strahlen, deren Existenz dem Auge verborgen war, Zeichnungen photographirt hat.

Wenn man daher erkannt hat, wie das Wesen irgend eines der Elemente zu erklären ist, aus denen das Spectrum besteht, so kennt man auch die Natur der übrigen und deshalb werden wir auch oft alle drei verschiedenen Thätigkeiten und die Gesammtheit der Strahlungen meinen, wenn wir uns des Wortes Licht bedienen. Am genauesten untersucht ist derjenige Theil des Spectrum, der die leuchtenden Strahlen umfasst, weil unser Auge vermöge seiner Em-

im Felde von der Sonnenhitze sehr litt; ich sprach ihm meine Verwunderung darüber aus, erhielt aber von ihm die sehr treffende Antwort: „It is a quite different heat“. — Das ist eine ganz andere Art von Hitze. Und in der That wissen wir, dass der Unterschied hauptsächlich darin liegt, dass die Sonnenwärme von sehr vielen chemischen Strahlen begleitet ist, die so kräftig wirken, dass sie im Stande sind dem Felle der Thiere eine andere Färbung zu ertheilen. Aehnliche Wirkungen bringen auch künstliche Lichter, wie das elektrische Kohlenlicht, in dem Grade hervor, wie ihnen chemische Strahlen beigemischt sind; man kann diese empfindliche Wirkung der Strahlen von grosser Brechbarkeit vergleichen mit dem höchst unangenehmen Eindrucke den sehr hohe Töne auf unser Ohr hervorbringen. S.

pfindlichkeit sehr leicht und schnell die feinsten Modificationen desselben unterscheidet, und von ihm hat man auf die anderen Theile geschlossen: allein es ist klar, dass sich auch die anderen Theile mit gleicher Schärfe würden untersuchen lassen, wenn es Personen gäbe, deren Augen auch für die anderen Strahlen des Spectrum, die auf unsern Sehnerv nicht wirken, gleiche Empfindlichkeit besässen.

Durch diese Entdeckungen ist die optische Thätigkeit der Strahlen, welche früher für die hauptsächlichste angesehen wurde, sehr in die zweite Linie gerückt: denn in der That würden die Strahlen nicht allein existiren, auch wenn wir nicht mit Augen ausgerüstet wären, durch die wir sie wahrnehmen, sondern sie würden auch fernerhin bei allen Erscheinungen der Natur ihren grossen Einfluss behalten, indem sie Wärme verbreiten und chemische Processe einleiten. Sicherlich ist der Vorgang des Sehens mittels des Lichts höchst wunderbar, denn in ihm hat sich der Schöpfer der Natur dieses Principes bedient, um die belebten Geschöpfe mit der Aussenwelt in Verbindung zu setzen, und zwar nur durch das einfache Mittel, dass im Grunde des Auges ein Bild der Gegenstände entsteht. Allein trotz der hohen Wichtigkeit, welche diese Thatsache für uns hat, da von ihr der grösste Theil unseres Geisteslebens abhängt, kann der Physiker dennoch die leuchtende Thätigkeit nur als eine secundäre ansehen, die einem andern, viel allgemeineren Gesetze untergeordnet ist: genau in derselben Weise, wie auch die Schallempfindung in unserem Ohre eine Erscheinung ist, die sich dem allgemeinen Gesetze der Wellenbewegungen unterordnet; denn diese Bewegungen würden bestehen, sie würden den Sand auf den Tafeln tanzen und die Saiten schwingen lassen, wenn uns auch der Gehörssinn fehlte. Der Eindruck von mehr oder weniger hellem Lichte, den die Strahlen im Grunde unseres Auges hervorbringen, hat nichts mit den anderen physikalischen Wirkungen derselben zu thun, und es könnte wohl möglich sein, dass die verschiedenen Thiere auch eine andere Stufenleiter für die Lichtempfindungen besitzen. Diese Behauptung findet eine Bestätigung in der bekannten Erscheinung der Farbenblindheit oder des Daltonismus: mit diesem Namen bezeichnet man einen Mangel des Sehvermögens, welcher an der Unterscheidung der einzelnen Farben hindert, sodass Personen, die mit ihm behaftet sind, z. B. Roth und Grün mit einander verwechseln, oder vielmehr alles für Grau

ansehen. Wäre die Sichtbarkeit der einzelnen Strahlen eine Eigenschaft, die mehr von ihnen selbst, als vom Auge abhängt, so müsste man, wie Melloni bemerkt, zugeben, dass derselbe Strahl gleichzeitig sichtbar und unsichtbar sein könnte, was einen Widerspruch in sich schliesst.

Auch hier zeigt es sich, wie gefährlich es ist, wenn man über die Natur der physischen Kräfte ein Urtheil fällen will und dabei nur unsere Sinneswahrnehmungen zu Grunde legt, was die Geschichte der Optik durch lehrreiche Beispiele reichlich bestätigt hat. Wie viele Meinungen sind z. B. aufgestellt worden, um den Vorgang des Sehens zu erklären! Manche meinten, die Sehkraft sei eine Potenz, die dem Auge innewohne, und die Strahlen gingen von ihm in gerader Linie aus, bis sie auf die Gegenstände träfen; andere glaubten, dass die Gegenstände nach allen Richtungen hin Bilder aussendeten; manche hielten den Vorgang für einen augenblicklichen, andere für einen allmählich entstehenden; auch über den Theil des Auges, in dem der Gesichtssinn seinen Sitz hat, war man lange im Zweifel. Alle diese Unsicherheiten verschwanden, als man den Mechanismus des Auges begriff, und als Scheiner die kleinen Bilder zeigte, welche von äusseren Gegenständen auf der Netzhaut der Augen von getödteten Thieren, wie in einer Camera obscura sich zeigten. Den Psychologen verblieb freilich noch die nicht geringe Aufgabe zu erklären, wie sich die Wahrnehmung im Innern auf die Aussenwelt überträgt und es entstand die Frage, ob der einfache Anblick ohne die Unterstützung des Tastsinnes genügend ist, uns eine genaue Vorstellung von den Dingen der Aussenwelt zu geben [1]). Aber trotz dieser Schwierigkeiten bei der weiteren psychologischen Erklärung wurde doch die Vorstellung für immer aufgegeben, dass das Sehen durch irgend eine specielle Kraft besonderer Art bewirkt

[1]) In Philos. Trans. 1841, p. I. finden sich folgende merkwürdige Fälle aufgezeichnet. Ein junger Mensch, der von Geburt an blind war, aber gelernt hatte die geometrischen Körper durch den Tastsinn zu unterscheiden, konnte, nachdem ihm das Augenlicht durch eine Operation wiedergegeben war, einen Würfel von einer Kugel nicht unterscheiden, als ihm diese Körper zum ersten Male gezeigt wurden, und staunte selbst über seine Unkenntniss, als er sie durch Betasten wiedererkannte; ein junges Mädchen, das ebenfalls von Geburt an blind gewesen war und später operirt wurde, erkannte vom Ansehen die Scheere nicht, welche sie gewöhnlich bei ihren Arbeiten gehandhabt hatte. S.

werde; das Problem wurde den Erscheinungen, die sich bei anderen alltäglichen Vorgängen zeigen, angereiht, und, welche Theorie über die Natur des Lichtes man auch annahm, so konnte die Thatsache des Sehens als erklärt gelten, ohne dass man irgend eine Kraft von neuer Art einzuführen brauchte. Jetzt, wo man weiss, dass der Einfluss des Lichtes eine viel grösserere Ausdehnung hat, als man früher vermuthete, wächst auch die Nothwendigkeit über seine Natur vollständig klar zu werden und deshalb wenden wir uns nunmehr zur Erforschung derselben.

KAPITEL II.

Verschiedene Theorien über das Licht. Die Emissionstheorie.

Dass das Licht in der Bewegung irgend eines Stoffes besteht, wird jetzt von keiner Schule mehr geleugnet: die Frage beschränkt sich also nur darauf, ob es in einer fortschreitenden Bewegung von sehr kleinen Theilen besteht, die vom leuchtenden Körper ausgesendet werden, in gerader Linie mit ungeheurer Geschwindigkeit den Raum durchschneiden, und im Auge angelangt die Lichtempfindung erzeugen, oder ob es in einer oscillirenden Bewegung besteht, die von einem allenthalben verbreiteten Mittel ausgeführt wird, welches man als den Aether bezeichnet, und die schliesslich auch auf unsern Sehnerv trifft und ihn in Schwingungen versetzt. Der Hauptvertreter der ersten Ansicht war Newton, während die andere zuerst von Huyghens vertheidigt wurde und jetzt allgemeine Anerkennung gefunden hat.

Der Erste, der klar ausgesprochen hat, dass das Licht in den Bewegungen einer Flüssigkeit bestehen müsse, welche sich in den durchsichtigen Mitteln vorfindet, und dass es sich wenigstens in ihnen in Form von Wellen weiter verbreite, war Grimaldi, welcher zur Unterstützung seiner Behauptung, ausser anderen Gründen, auch seine berühmten Experimente über die Beugungserscheinungen [1])

[1]) Das Werk Grimaldi's ist hauptsächlich nur durch die beiden ersten Sätze, welche seine berühmten Versuche über die Beugung des Lichtes behandeln, bekannt, und doch enthält es eine Menge physikalischer Ideen,

anführte, bei denen er die auffällige Thatsache beobachtete, dass Licht zu Licht hinzugefügt Dunkelheit giebt. Sowohl das Auslöschen des Lichtes, als auch das Auftreten der Streifen bei den Beugungserscheinungen lässt sich nur durch die Annahme erklären, dass das Licht sich in Form von Wellen ausbreitet: hierbei erinnerte er schon an die Aehnlichkeit mit den Erscheinungen, die sich immer zeigen, wenn Wasserwellen einander durchkreuzen, wobei ebenfalls durch entgegengesetzte Bewegungen Ruhe entsteht.

Die ursprünglichen Versuche Grimaldi's, welche als Grundlage für diese Lehre dienten, sind so einfach und lassen sich so leicht wiederholen, dass es von Nutzen sein wird, wenn wir sie in aller ihrer ursprünglichen Einfachheit beschreiben und es den Physikern überlassen, sie mit kostbareren Apparaten zu wiederholen. Lässt man in ein dunkles Zimmer durch eine enge Oeffnung, die in eine Metallplatte gebohrt ist, einen feinen Lichtstrahl eindringen, so erhält man einen Lichtkegel, der ein wenig stärker divergirt, als man nach der geometrischen Richtung der Strahlen erwarten sollte; noch merklicher wird diese Divergenz, wenn man in der Richtung des Lichtstrahls in einiger Entfernung von der ersten Platte eine zweite aufstellt, in welcher sich ebenfalls eine kleine Oeffnung befindet: die Seiten des zweiten Kegels werden nicht mehr mit denen des ersten parallel sein, sondern stärker divergiren. Hieraus ist zu schliessen, „dass der Lichtstrahl nicht in gerader Linie weiter geht, wenn er die Ränder jener Oeffnungen streift."

Spannt man in dem Lichtkegel, der aus einer feinen Oeffnung kommt, einen dünnen Faden aus und fängt man den Schatten desselben in einiger Entfernung auf einem weissen Blatte auf, so erscheint der Schatten äusserlich gesäumt durch drei farbige Streifen,

welche, so richtig sie auch waren, doch von den Schulen seiner Zeit nicht verstanden wurden, so dass er sie in einem zweiten Theile (wenn derselbe wirklich von ihm herrührt) widerruft. Man findet dort schon die Behauptung, dass alle Stoffe porös sind, und die Wirkung des Magnetismus wird schon als Beweis für die Existenz eines allgemein verbreiteten Mittels angeführt. Zur Erklärung des Regenbogens wird die Strahlenbrechung im Prisma und der Weg der Lichtstrahlen, die in dem Wassertropfen zersetzt werden, mit staunenswerther Genauigkeit auseinandergesetzt. Das Werk wurde viele Jahre vor der Optik Newton's veröffentlicht und der Letztere zog aus ihm für seine grossen Entdeckungen bedeutenden Nutzen. Grimaldi, De lumine, coloribus et iride. Opus posthumum. Bononiae 1665.
S.

deren Breite nach aussen hin abnimmt, im Innern des Schattens aber bemerkt man einen oder mehrere helle Streifen. Sehr hübsch erscheint der Versuch, wenn man eine Nähnadel in den Lichtstrahl einführt: das Oehr derselben scheint in der Mitte der Oeffnung einen dunkeln Schatten zu werfen, der an den Rändern hell umsäumt ist, während die Spitze verdoppelt erscheint. Alle undurchsichtigen Körper, welche in den Lichtkegel gebracht werden, werfen Schatten, welche äusserlich durch farbige Streifen umsäumt sind, während im Innern diffuses Licht zu bemerken ist, das sehr schnell an Intensität abnimmt. Am Rande dunkler Körper findet also immer eine Ablenkung des Lichtstrahles oder, wie man sagt, eine Beugung oder Diffraction statt, durch welche das Licht in den dunkeln Raum hinübergeleitet wird.

Lässt man das Licht durch einen schmalen Spalt eintreten und vereinigt man es durch eine Sammellinse E (Fig. 13), stellt dann in seinem Wege hinter dem Brennpunkte einen Schirm CD mit

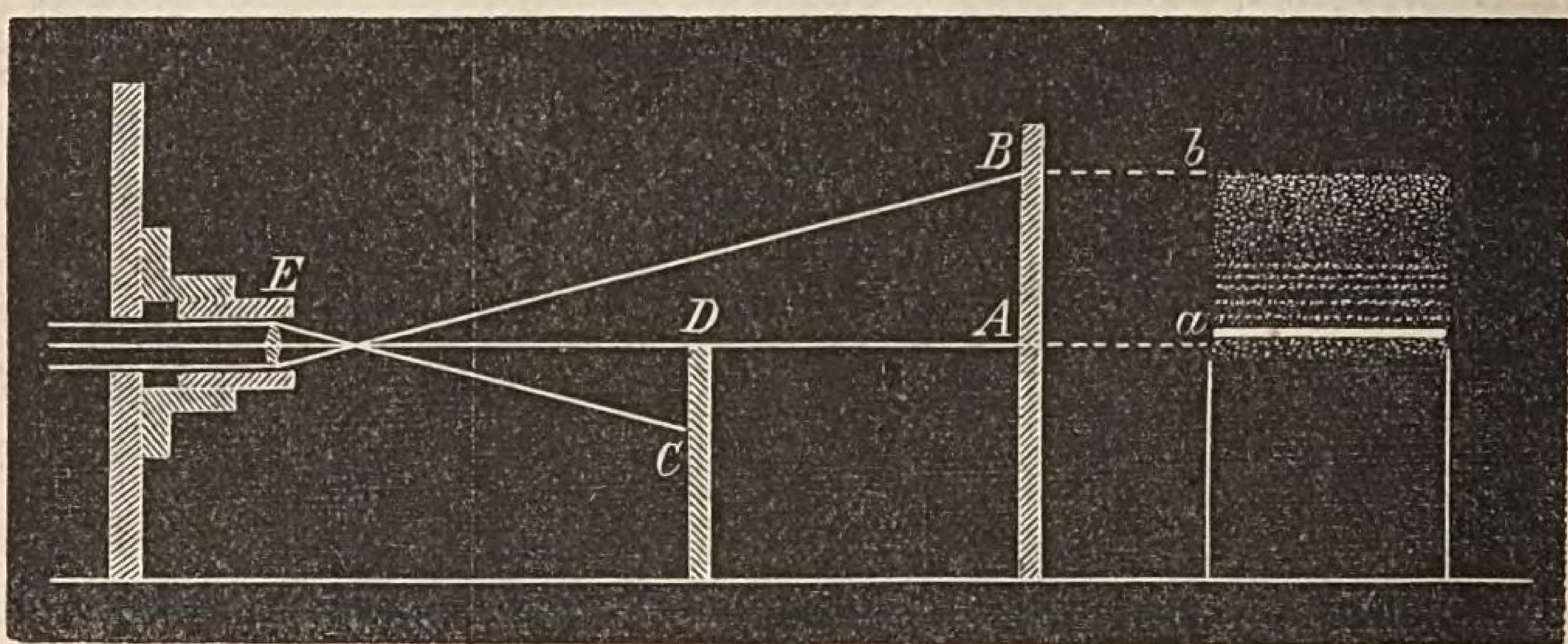


Fig. 13.

scharfem Rande auf, welcher die Hälfte der Strahlen abgrenzt, so zeigen die nicht aufgefangenen Strahlen auf einer Wand AB ein Bild, wie es in der Zeichnung durch ab wiedergegeben ist, bei welchem deutlich zu erkennen ist, dass die Strahlen am scharfen Rande D eine Beugung erlitten haben, indem sich unterhalb des hellen Streifens a und innerhalb des Schattens noch mehrere helle Streifen bilden. Lässt man dagegen ein dünnes Lichtbündel durch eine kleine kreisförmige Oeffnung treten, die in einer zweiten dünnen Platte angebracht ist, so erscheint auf einem Schirme hinter der Platte ein weisser Kreis, der von einem dunkeln Ringe eingefasst ist; auf diesen folgt wieder ein weisser und hierauf ein zweiter dunkler Ring und auf diesen endlich noch ein weiterer heller Ring,

der aber bedeutend lichtschwächer ist, während der erste weisse Ring stärker leuchtet, als der innere Kreis. Bringt man nun in der Platte eine zweite kreisförmige Oeffnung A' an, die von der ersten Oeffnung A (Fig. 14) etwa 1 bis 2^{mm} absteht, und stellt man den Schirm in solcher Entfernung auf, dass die ersten hellen Ringe zum Theil auf einander fallen, so erscheint das linsenförmige Segment E, das den beiden Ringen B C und B' C' gemeinsam ist, viel dunkler als die Theile der Ringe, die nicht zusammenfallen; das Licht des einen Ringes ist also durch das des andern vernichtet worden [1]).

Grimaldi's Versuche über die Beugungsstreifen wurden von Newton mit Vorliebe aufgenommen; zu verwundern aber ist es, dass Huyghens aus ihnen keinen Nutzen zog, während sie doch als eine der besten Stützen für sein System anzusehen sind, das in ihnen einen der schärfsten Beweise findet. Statt diesen Beweis zu führen

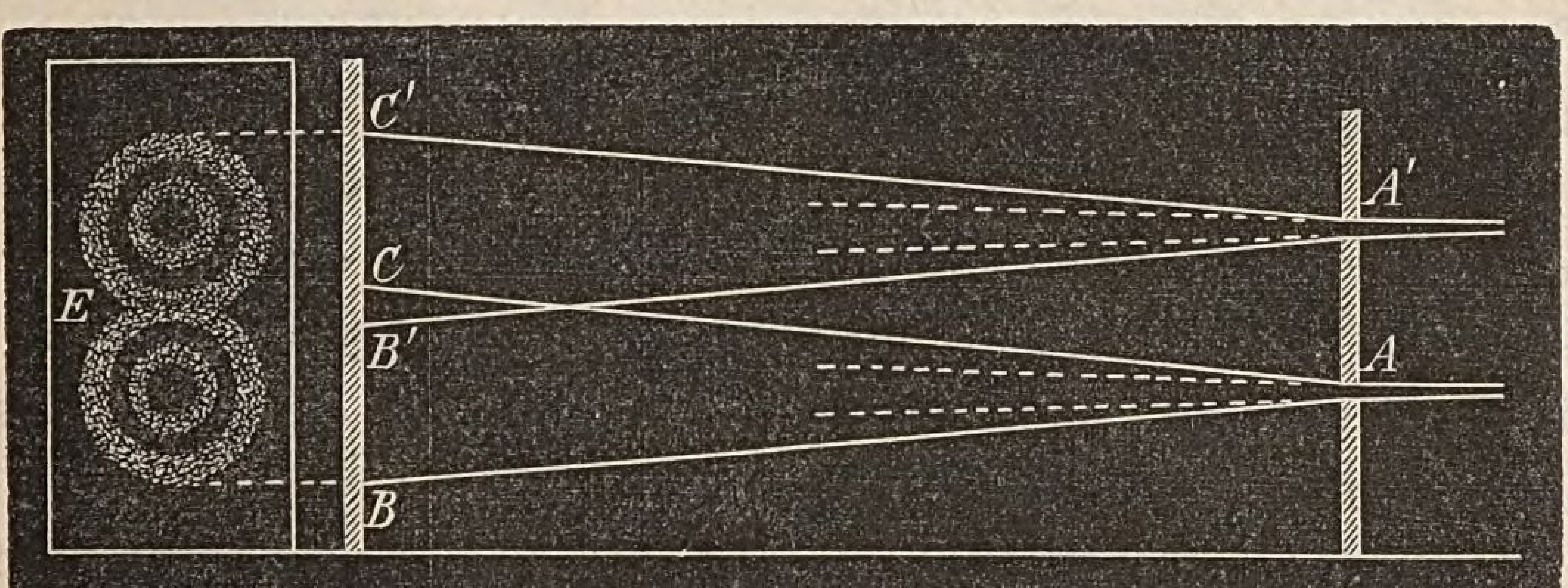


Fig. 14

und die Erscheinungen aus einer Wellenbewegung zu erklären, hat der erstgenannte grosse Physiker, obgleich er die Möglichkeit einer solchen Bewegung in den ersten Abschnitten seiner Optik zugiebt, zu ihrer Erklärung besondere Kräfte herangezogen, welche angeblich

1) Die Platte mit den kreisförmigen Löchern stellt man am besten etwa 2^{m} weit von der Oeffnung auf, durch welche das Licht in das Zimmer eindringt, und in dieselbe Entfernung von der Platte bringt man auch den Schirm, wenn der Durchmesser der Löcher kleiner als 1^{mm} ist und ihr Abstand ungefähr 2^{mm} beträgt; die günstigste Stellung aber macht man durch Probiren ausfindig. Besser noch gelingen die Versuche, wenn man das Licht nicht durch eine kreisförmige Oeffnung, sondern durch einen Spalt eintreten lässt, und wenn man den Strahlen durch eine Linse von grosser Brennweite schwache Convergenz ertheilt. S.

an der Oberfläche der Körper ihren Sitz haben und in die Ferne wirken sollten.

Newton's Theorie fand viele Anhänger, einmal weil sie auf den ersten Blick viel verständlicher erschien, dann aber auch wegen des Ansehens, in dem ihr Begründer stand: bei genauerer Prüfung aber ist sie im Gegentheil ziemlich verwickelt, was diejenigen ganz zu übersehen scheinen, die noch in neueren Zeiten den Versuch gemacht haben ihr neue Geltung zu verschaffen; und deshalb dürfte es nicht überflüssig sein, wenn wir jetzt etwas näher auf sie eingehen. Wenn wir bei dieser Prüfung immer auf die Undulationstheorie vergleichende Blicke werfen, und wenn wir zugleich darauf hinweisen, dass sich die von Newton zur Erklärung dieser Erscheinungen ersonnenen Kräfte in Wirklichkeit nur in Antriebe für die oscillirende Bewegung auflösen, so werden wir daraus grossen Nutzen ziehen für das Verständniss ähnlicher Fälle in anderen Theilen der Untersuchungen, mit denen wir uns beschäftigen. Wir stellen diese Betrachtungen nicht an, um eine Kritik zu üben, die heut zu Tage nicht mehr zeitgemäss sein dürfte, sondern nur um zu zeigen, wie immer, wenn im Studium der Natur anfangs für jede Gruppe von Erscheinungen besondere Kräfte eingeführt wurden, diese sofort wieder verschwinden, sobald man das Wesen der Vorgänge erkannt hat, und dass an ihre Stelle die einfachen Gesetze der mechanischen Bewegung treten.

Um zunächst nach jener Theorie die Fortpflanzung des Lichtes zu erklären, musste man annehmen, dass der ganze Raum mit unzähligen kleinen Körpern erfüllt sei, die von den leuchtenden Gegenständen mit einer Geschwindigkeit von 300,000 Kilometern in der Secunde fortgeschleudert werden; die Wurfkraft musste aber, was sich mit unseren Vorstellungen am wenigsten verträgt, für die Körper, die sich in der heftigsten Gluth befinden, wie für die Sterne, dieselbe Grösse haben, wie für die schwächsten Lichtquellen, als z. B. für die Leuchtkäfer. Eine solche Voraussetzung scheint nicht statthaft zu sein, da die Heftigkeit des Stosses im Verhältnisse der Bewegung wachsen muss, in der sich die Körper befinden, und diese Bewegung kann unmöglich bei allen gleiche Grösse haben. In der Undulationstheorie dagegen verschwindet diese Schwierigkeit vollständig; denn nach dieser Ansicht erfolgt die Fortpflanzung des Lichtes in derselben Weise, wie sich der Schall in der Luft ausbreitet, dessen Geschwindigkeit ja nur von der Elasticität des Mittels

abhängt, aber von der Intensität der Schwingungsbewegung, also von der Grösse der Excursionen, welche die vibrirenden Molecüle und damit die Theilchen des umgebenden Mittels ausführen, unabhängig ist. Schwache und starke Lichter müssen sich daher mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen, so wie sich auch schwache und starke, hohe und tiefe Töne mit gleicher Geschwindigkeit verbreiten.

Um die gewöhnliche Reflexion der Lichtstrahlen bei den Spiegeln zu erklären, musste Newton annehmen, dass die einzelnen Molecüle an der Oberfläche der Körper mit gewissen Repulsivkräften begabt seien, welche die Lichtpartikeln zurückstossen, bevor dieselben noch in unmittelbare Berührung mit der Oberfläche gelangt sind: nur so konnte die Wirkung der Unebenheiten der Flächen ausgeglichen werden, welche im Verhältnisse zu den Lichtmolecülen grösser sind, als unsere Berge im Vergleiche mit Billardkugeln; denn schon Newton war darüber im Klaren, dass sich eine regelmässige Reflexion aus rein mechanischen Gründen nicht erklären liess, und deshalb nahm er seine Zuflucht zu abstossenden Kräften, über deren Wesen man in vollständiger Unklarheit verblieb. Auf alle Fälle mussten sich diese Repulsivkräfte durchaus von denen unterscheiden, deren wir im vorhergehenden Buche (S. 114) Erwähnung thaten, und welche nur darin ihren Grund hatten, dass sich die Molecüle der Oberfläche in aussergewöhnlich starker Erregung befinden: denn diese würden die Reflexion in keiner Weise unterstützen, sondern sie könnten nur dazu beitragen ihre Unregelmässigkeit zu erhöhen. — Solcher Kraft bedarf man nun in der Undulationstheorie nicht: denn, wenn das Licht auf die Oberfläche eines Körpers trifft, so sind nach den Ergebnissen der Untersuchungen die Aetherwellen, aus denen es besteht, lang genug, so dass trotz der Rauhigkeit der spiegelnden Körper eine regelmässige Reflexion, wie beim Schalle, zu Stande kommen kann. So hat man gefunden, dass die Länge der Wellen, die als gelbes Licht erscheinen, fünf bis sechs Mal so gross ist, als die Dicke des feinsten Blattgoldes, woraus sich mit Sicherheit schliessen lässt, dass sie die Grösse der Unebenheiten polirter Flächen weit übertrifft; durch Anwendung chemischer Mittel hat Faraday Goldblättchen hergestellt, deren Dicke sogar nur den funfzigsten Theil jener Wellenlänge betrug [1]).

[1]) Faraday, Philos. Trans., 1847, I, p. 145. S.

Eine Hauptklippe für die Emissionstheorie war aber die Erklärung der Strahlenbrechung; für sie musste Newton annehmen, dass im Innern der Körper das Licht durch eine wunderbare Kraft angezogen werde, deren Intensität tausend Billionen Mal so gross sein musste, als die Intensität der Schwerkraft[1]). Durch diese Anziehung sollte der Strahl von der geraden Linie abgelenkt und in der stärker brechenden Substanz dem Einfallslothe zugebrochen werden: gleichzeitig müsste er sich aber auch in derselben mit grösserer Geschwindigkeit bewegen, als zuvor. Die Rechtfertigung dieser Ansicht war also von der Messung der Geschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Mitteln abhängig: dass sich aber das Licht mit um so geringerer Geschwindigkeit bewegt, je dichter das Mittel ist und je stärker es das Licht bricht, haben die viel späteren Versuche Arago's und Fresnel's, und ganz besonders die letzten Untersuchungen Fizeau's und Foucault's bewiesen, und damit ist Newton's Theorie, nach welcher sich das Gegentheil hätte ergeben müssen, entschieden widerlegt. Huyghens' Wellentheorie dagegen verlangt, dass im dichteren Mittel die Geschwindigkeit geringer sei, und hat daher durch jene Versuche, welche ihr entsprechende Resultate gaben, eine glänzende Bestätigung erfahren.

Auch um die von Grimaldi entdeckten Beugungserscheinungen zu erklären, berief sich Newton auf eine abstossende Kraft, deren Wirkung sich bis auf einige Entfernung vom Körper erstrecken sollte, ja er setzte bei ihnen schon eine Art schwingender Bewegung voraus[2]): eine Annahme, die nöthig war um die Dreizahl der hellen Streifen, ihr Divergiren von den Rändern der Körper und den Wechsel mit dunkeln Linien zu erklären. Aehnliche Oscillationen, die er mit dem Namen der Wechselbeziehungen zwischen der leichteren Zurückwerfung und dem leichteren Durchgange bezeichnete, nahm er auch an, um die Farben der dünnen Blättchen zu erklären, und er war geneigt dieselben den Wärmeschwingungen der Körper zuzuschreiben[3]).

Man kann den Scharfsinn nicht genug bewundern, mit welchem Newton alle diese Hypothesen ersann, um Thatsachen zu erklären,

[1]) Newton, Optics. London 1706, p. 321. S.

[2]) „Winden sich nicht die Strahlen, welche einen Körper der Länge nach durchlaufen, mehrere Male nach verschiedenen Richtungen in der Art, wie sich ein Aal bewegt?" Newton, Optics. Qu. III. S.

[3]) Ibid. Qu. XXI. S.

die sich aus dem Zusammentreffen der Lichtwellen und ihrer Interferenz von selbst ergeben, wie jetzt bewiesen ist; und es lassen sich auf die Emissionstheorie füglich Vergil's Worte anwenden; si Pergama dextra defendi possent etiam hac defensa fuissent. Wenn es jetzt noch Gelehrte giebt, welche Newton's Lehre wieder in's Leben rufen möchten, so sollten dieselben wenigstens, wie jener grosse Philosoph, darauf bedacht sein alle Erscheinungen, welche die Wissenschaft seitdem ans Licht befördert hat, mit ihrer Theorie in Einklang zu bringen.

Mehr aber noch als in allen anderen Fragen, zeigt sich Newtons Scharfsinn da, wo es sich um die Erklärung handelt, warum ein Lichtstrahl, der durch einen isländischen Doppelspath gegangen ist, bald einen zweiten ähnlichen Krystall durchwandern kann, indem er sich dabei in zwei Theile zerlegt, bald einfach durch ihn hindurchgeht. Um diese Erscheinung zu erklären, kam er auf die Vermuthung, dass die Strahlen nach den Seiten hin verschieden ausgebildet seien und dass die Lichtmolecüle in ähnlicher Weise Pole besitzen, wie die Magnetnadeln, vermöge welcher Eigenschaft sie bald die Poren der Körper durchdringen können, bald wieder nicht. Es ist überraschend, wie diese Hypothese einen Keim von Wahrheit enthält, der auch in der Undulationstheorie Aufnahme fand: freilich konnte man den Grund für die Zweitheilung der Strahlen nicht in klaren Worten und durch deutliche Begriffe angeben, sondern man musste sich auf Eigenschaften, die den Strahlen von Natur inne wohnen sollten, auf gleichsam angeborene Eigenschaften, also auf Begriffe, die in Wirklichkeit nicht zur Klarheit gebracht werden konnten, berufen. Dagegen gab Huyghens mit mathematischer Strenge von allen diesen Erscheinungen Rechenschaft, indem er voraussetzte, dass sich in den Krystallen die Strahlen auf doppelten Wellenoberflächen, nämlich auf den Flächen von Kugeln und von Ellipsoiden ausbreiten, wiewohl er für die Entstehung dieser doppelten Welle noch keinen Grund anzugeben vermochte; um dieser Unkenntniss willen verwarf Newton eine solche Art der Ausbreitung, als wenn sie durchaus unbegründet wäre: allein die Lösung dieser Schwierigkeit überstieg nur die Grenzen des mechanischen Wissens jener Zeit, und wir werden an geeigneter Stelle sehen, wie sie jetzt überwunden ist. Es scheint unbegreiflich, dass ein so grosser Mathematiker, wie Newton war, von der strengen Deduction, welche Huyghens zur Erklärung dieser Er-

scheinungen anwendete, nicht mit fortgerissen wurde, sondern auf eine doppelte Brechbarkeit zurückgriff, welche den Strahlen eigenthümlich sein sollte [1]).

Newton machte gegen die Wellentheorie zweierlei Einwendungen: erstens, dass sich die Lichtwellen nicht um die Gegenstände herum beugen, wodurch die Enstehung des Schattens unmöglich sein würde; zweitens, dass man im Weltenraume ein Mittel annehmen müsse, welches auch der Bewegung der Planeten Widerstand leisten würde. Was den letzteren Einwand anlangt, so lässt sich antworten, dass in seiner eignen Theorie dieser Raum nichts weniger als leer ist, sondern dass sich darin so viele verschiedene Strahlungen vorfinden müssen, als die Unzahl der Sterne und andrer Punkte beträgt, die nach allen Seiten hin Strahlenbündel aussenden und andere Gegenstände erhellen; betreffs des ersten Einwandes sieht man leicht, dass Newton das Grundprincip nicht beachtete, durch welches Huyghens jene Schwierigkeit löste und nachwies, dass sich das Licht nicht um die Gegenstände herumbeugen könne, ein Princip, auf welches wir bald zu sprechen kommen. In der That hat Huyghens selbst eingestanden, dass er sich nicht entschliessen konnte, vollständig sein eignes System anzunehmen, bis es ihm gelungen war, dieses Princip aufzufinden. Um die Schwierigkeit zu heben, genügt schon, dass man die Erscheinungen des Schalles zum Vergleiche heranzieht, denn auch der Schall besitzt einen Schatten [2]); andrerseits zeigen Grimaldi's Streifen eine Beugung des Lichtes um die Gegenstände.

Newton's Optik ist entschieden ein unvergängliches Denkmal seines Geistes, zugleich ist es aber auch ein Werkzeug, das nur in den Händen seines Erfinders nutzbar ist: es ist der Bogen des Ulysses, den er nur selbst in jedem einzelnen Falle durch eine Hypothese, welche speciell für jeden Versuch erfunden werden

[1]) Optics. Qu. XVII, p. 299. Diese schönen Entdeckungen von Huyghens werden durch nicht annehmbare Vorstellungen über die Schwerkraft aufgewogen; auch hier gilt der Satz: non omnia possumus omnes. S.

[2]) Dass der Schall Schatten wirft, lässt sich in vielen Fällen leicht zeigen. Hält man eine Taschenuhr an ihrer Kette dem Ohre gegenüber und lässt man sie so hin und her schwingen, dass sie sich bisweilen hinter einem Gegenstande, z. B. dem Arme des Beobachters, verbirgt, so bemerkt man, dass das Ticken unhörbar wird, sobald die Uhr hinter dem Gegenstande verschwindet. S.

musste, zu spannen vermochte. Die Menge der Kräfte, welche für jede neue Erscheinung erforderlich waren und deren Wesen sich nicht verstehen noch erklären liess, bildete die schwache Seite dieser Theorie, und so konnte dieselbe nicht Stand halten, als sie der Prüfung durch schwierigere Probleme, wie sie spätere Zeiten aufstellten, unterworfen wurde; selbst ihre wärmsten Vertheidiger gaben sich besiegt, sobald sie zur Erklärung der Erscheinungen der Polarisation und der doppelten Brechung gelangten, und nahmen die Theorie der Wellenbewegung an, welche allein die Erscheinungen, von denen die andere nur inhaltlose Erklärungen geben konnte, auf einfache Gesetze zurückführt [1]).

Wir lassen nunmehr Newton's Theorie unberücksichtigt und wenden uns zur Auseinandersetzung der Undulationstheorie; hierbei beschränken wir uns aber auf diejenigen Punkte, welche für den Zweck, den dieses Werk verfolgt, nothwendig sind: die Auseinandersetzung der übrigen Lehren überlassen wir dagegen den Specialwerken.

KAPITEL III.

Die Undulationstheorie. Der Aether.

Ohne Zweifel war Grimaldi der Erste, welcher die Bewegung des Lichtes mit der Bewegung der Wellen verglich, die auf der Oberfläche des Wassers entstehen, und der die Existenz eines Fluidum annahm, in dem es sich ausbreitet. Auch das Cartesianische System, nach welchem der Planetenraum mit einem Stoffe von ausserordentlicher Feinheit erfüllt ist, hat nicht wenig dazu beigetragen die Ansichten über das wahre Wesen des Lichtes zu klären, wenn es auch den Zweck, zu dem es ersonnen war, nämlich die Mechanik des Himmels auf ein einheitliches Princip zurückzuführen, nicht wesentlich förderte. Wenn der Urheber der Vorstellung von irgend einem Mittel dieselbe in dieser Beziehung auch nicht richtig auffasste, so wusste seine Schule sie zu einem gewissen

[1]) Zum Beweise hierfür möge der Hinweis auf Herschel's schönen Tractatus de lumine genügen: sobald dieser Gelehrte zur Polarisation und doppelten Brechung gelangt, entscheidet er sich schliesslich in ganz bestimmter Weise zu Gunsten der Wellentheorie. S.

Grade der Vollkommenheit auszuarbeiten und schon Malebranche nahm an, dass die Farben, nicht wie Newton behauptete, absolute Eigenschaften der Lichtstrahlen seien, sondern dass sie in der verschiedenen Länge der Wellen, die in jenem Mittel entstehen, ihren Ursprung haben [1]). In Huyghens aber fand diese Theorie einen Vertreter, durch welchen die undeutlichen Vorstellungen der Philosophen auf die Höhe mathematischer Wahrheit gelangten [2]).

Wie wir schon im vorigen Kapitel andeuteten, erfolgt nach dieser Theorie die Ausbreitung des Lichtes durch Oscillationen einer nicht wägbaren Flüssigkeit namens Aether, ebenso wie sich der Schall durch Schwingungen der Luft fortpflanzt: durch die Länge der Wellen wird die Farbe bestimmt, so wie von der Länge der Schallwellen in der Luft die Höhe des Tones abhängt; die Intensität des Lichtes richtet sich nach der Grösse der Excursionen, welche die Aethertheilchen bei einer Schwingung durchlaufen; unter einem Strahle versteht man endlich die Senkrechte auf der Oberfläche einer Welle, die von einem leuchtenden Punkte ausgegangen ist. Die Reflexion lässt sich in ganz derselben Weise erklären, wie beim Schalle, die Strahlenbrechung oder Refraction dagegen wird dadurch bewirkt, dass sich der Strahl im stärker brechenden Mittel mit geringerer Geschwindigkeit weiter bewegt. Noch heute werden die mathematischen Beweise für diese Sätze in ganz derselben Weise geführt, wie sie Huyghens gegeben hat, da sie an Einfachheit und Eleganz noch nicht übertroffen worden sind. Der wichtigste Einwurf, den Newton gegen diese Theorie erhob, bestand darin, dass nach ihr das Licht, wenn es durch eine Oeffnung in einen dunkeln Raum eintritt, sich nicht in cylindrischen Strahlenbündeln fortpflanzen könnte, wie es doch der Augenschein lehrt, sondern dass es sich gleich dem Schalle nach allen Seiten hin ausbreiten müsste: allein auch diese Schwierigkeit hat Huyghens in wunderbarer Weise gelöst, indem er einen Satz aufstellte, der mit Recht als das Grundprincip für diese Theorie anzusehen ist, weshalb wir denselben auch etwas ausführlicher behandeln müssen.

Ist innerhalb eines homogenen elastischen Mittels ein Punkt P (Fig. 15) in schwingender Bewegung, so erzeugt er eine Welle,

[1]) Priestley, History of visions, light and colours. London 1772, p. 240. S.

[2]) C. Hugenii Opera. Amsterdam 1728, besonders vol. I, p. 14. S.

welche sich auf einer Kugeloberfläche rings um den Punkt ausbreitet. Nun ist eine einzelne Welle in Wirklichkeit nicht im Stande in unserem Auge Lichtempfindung zu erzeugen, sondern diese entsteht immer nur dann, wenn die Wellen von mehreren leuchtenden Punkten gleichzeitig auftreffen und sich gegenseitig unterstützen, bis sie durch ihre Vereinigung eine Intensität erlangen, die auf unser Auge einen Eindruck von genügender Stärke hervorbringt. Bei dieser Vereinigung der Wellen hängt nun die Richtung des Strahles von der Resultante ab, die sich durch die Zusammensetzung aller einzelnen Bewegungen ergiebt, und lässt sich auf folgende Weise bestimmen. Jeder einzelne Punkt a, b, c, d, e auf der Oberfläche der ursprünglichen Welle M N lässt sich immer wieder als ein neuer Schwingungsmittelpunkt ansehen, von dem neue Kugelwellen ausgehen, die sich alle mit gleicher Geschwindigkeit ausbreiten und von einer Kugel R S umhüllt werden, welche alle berührt und deren Mittelpunkt in P fällt. Da nun alle die einzelnen Kugel-Wellen, welche in R S zusammentreffen, verschiedene Mittelpunkte haben, so werden sich ihre Oberflächen bei der Ausbreitung bald weit von einander entfernen, und nur in einem sehr geringen Abstande von M N schliessen sie sich ziemlich genau an die gemeinsame Tangentenfläche R S an, welche der Oberfläche, auf der die Schwingungsmittelpunkte lagen, parallel ist. Die Wellen, die von a, b, c, d, e ausgehen, erregen also auf der concentrischen Kugel R S nur innerhalb des Stückes von K bis Q Schwingungen, die sich unterstützen: ausserhalb dieses Raumes aber, wie in m n oder p o, trennen sich die Flächen von einander, sodass also der Raum, in dem sich die Schwingungen gegenseitig verstärken, nach der Seite hin durch die Linien a K und e Q begrenzt erscheint und dass sich das Licht, das von a, b, c, d, e ausgeht, nicht weiter zur Seite ausbreiten kann.

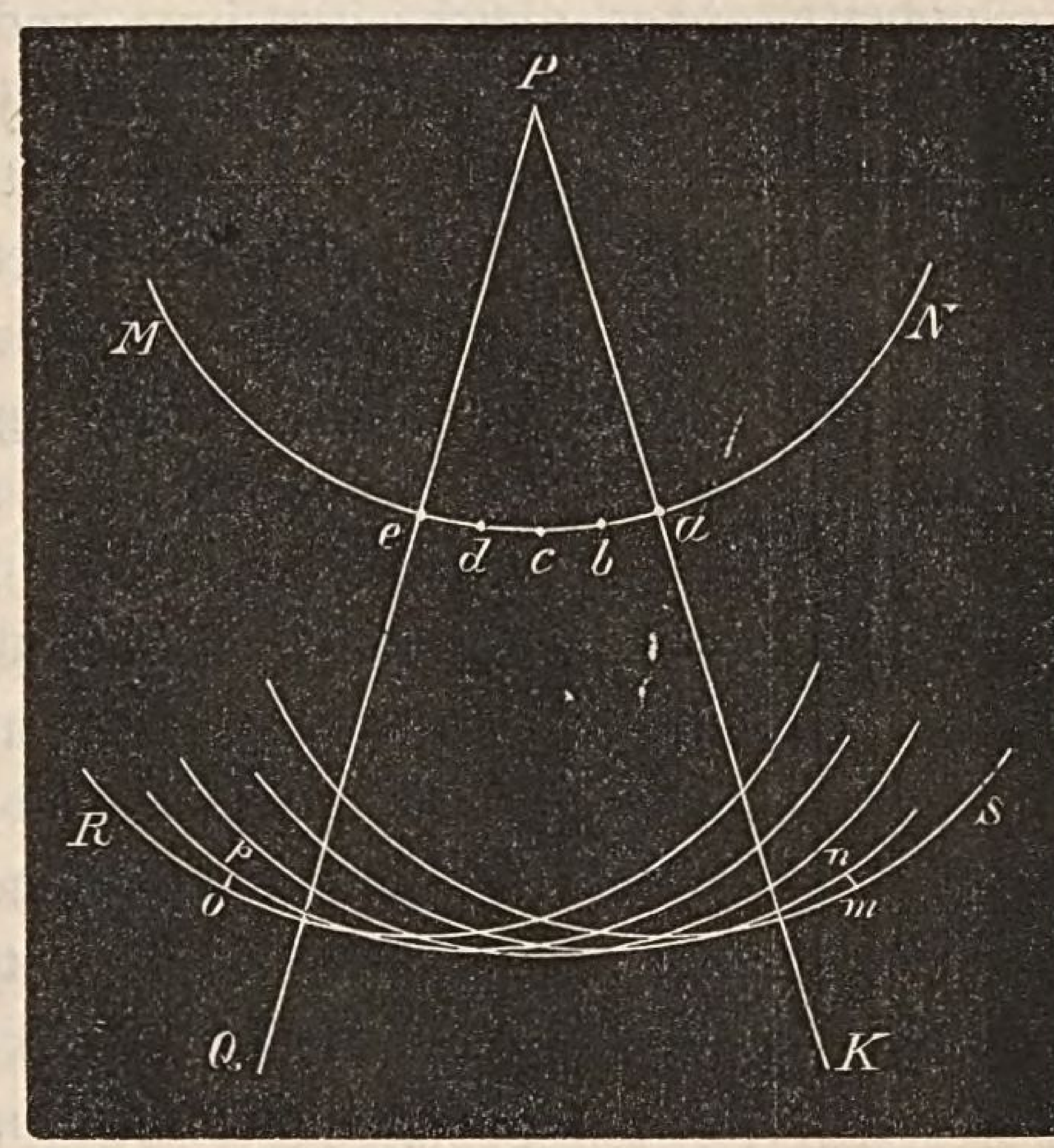


Fig. 15.

Gleichwohl bestehen auch noch ausserhalb dieses Raumes Wellen, allein einmal sind sie zu weit zerstreut und vereinzelt und dadurch zu schwach, als dass sie wahrgenommen werden könnten, und zweitens vernichten sie sich vielfach gegenseitig, indem die positive Schwingungsbewegung der einen Welle mit der negativen der nächst benachbarten zusammentrifft und sie vernichtet, wie dies z. B. in p o und m n wohl stattfinden kann. Beträgt nämlich der Abstand von n bis m so viel, dass das Licht um ihn zu durchlaufen dieselbe Zeit gebraucht, wie zur Vollendung einer halben Schwingung erforderlich ist, so wird die Oscillation infolge beider Wellenbewegungen gleichzeitig in n und m nach derselben (positiven) Seite hin gerichtet sein: bevor jedoch die eine Welle den Weg von n bis m zurückgelegt hat, ist in der andern Welle an Stelle der Schwingung in positiver Richtung die Schwingung im negativen Sinne getreten, welche der von n anlangenden Welle entgegengesetzt wirkt und ihre Bewegung vernichtet. Ist dagegen die Entfernung von n bis m doppelt so gross, wie es in etwas grösserem Abstande von K immer der Fall sein wird, so werden die Wellen mit gleicher Schwingungsphase zusammentreffen und sich gegenseitig unterstützen. Also auch jenseits der Grenzen P K und P Q können noch wahrnehmbare Lichtstreifen entstehen, die aber mit dunkeln Streifen abwechseln, und zwar wird diese Erscheinung um so schärfer hervortreten, je genauer die Ausbreitung der Wellen in solcher Weise erfolgt, als gingen dieselben von einem einzigen Punkte aus: nur unter dieser Bedingung werden die Streifen bei den Beugungserscheinungen sichtbar; wenn dagegen das Licht von einer leuchtenden Fläche von grösserer Ausdehnung ausgeht, so heben sich die Schwingungen jenseits der geradlinigen Grenze in viel vollkommenerem Grade auf und der Lichtkegel ist viel schärfer begrenzt.

Das Huyghens'sche Princip hat in neuerer Zeit eine schöne Bestätigung durch die Versuche mit den Gittern erhalten, bei denen sich an manchen Stellen die Theile der Strahlen, welche durch die schmalen Oeffnungen hindurchgegangen und dann von der geraden Richtung abgewichen sind, verstärken und noch in grossem Abstande von der Hauptaxe des Strahles helle Streifen geben, während sie sich an anderen Stellen zertören, sodass dort dunkle Zwischenräume entstehen. Dies ist auch der Grund, weshalb die kegelförmige Erweiterung eines Lichtstrahles um so grösser ist, je kleiner die

Oeffnung ist, durch die er hindurchging, oder je kleiner der Theil der Wellenoberfläche ist, von welchem die neue Wellenbewegung erregt wird: bei Strahlen von grösserem Durchmesser ist dagegen jene Erweiterung ganz unmerklich, weil sich in diesem Falle die Bewegungen, die nach der Seite hin übergreifen, viel vollständiger gegenseitig aufheben. Da nun selbst die kleinste Oeffnung noch Platz für sehr viele Schwingungsmittelpunkte enthält, so ist es nöthig, die Dimensionen des Strahles möglichst zu verkleinern, wenn seine Erweiterung von merklicher Grösse sein soll.

Die gegenseitige Aufhebung der oscillirenden Bewegungen, welche durch Grimaldi zuerst nachgewiesen und durch Huyghens zur Begründung seiner Theorie benutzt wurde, gab Young Veranlassung, das allgemeine Princip der Interferenz aufzustellen. Treffen nach diesem Principe zwei Strahlen, welche derselben Quelle entstammen, oder zwei Wellensysteme, die von demselben Schwingungsmittelpunkte ausgegangen sind, auf einander, und hat der eine Strahl eine Verzögerung von einer halben Wellenlänge erfahren, bevor er sich mit dem andern wieder zusammensetzt, so werden sich die Bewegungen gegenseitig aufheben und es wird Dunkelheit entstehen, weil immer die Schwingungen des einen Strahles nach der positiven Seite mit den Schwingungen des andern nach der negativen Seite zusammentreffen: beträgt dagegen die Verzögerung zwei halbe oder eine ganze Wellenlänge, so verstärken sich die Strahlen, weil sich dann beide wieder gleichzeitig in derselben Schwingungsphase befinden. In gleicher Weise wird jedes Mal Aufhebung der Bewegung stattfinden, wenn die Verzögerung eine ungerade Anzahl, Verstärkung der Schwingung, wenn sie eine gerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt.

Misst man die Länge der Wege, welche die Strahlen in allen einzelnen Fällen durchlaufen, so kann man die Richtigkeit dieses Principes in aller Strenge nachweisen, und aus ihm lassen sich weiter eine sehr grosse Menge von Erscheinungen erklären, wie Grimaldi's Streifen, die Zerstörung des Lichtes, das durch zwei nahestehende kleine Oeffnungen oder Spalten gegangen ist, oder das durch zwei unter einem sehr flachen Winkel geneigte Spiegel reflectirt wird; endlich finden auch die Farben dünner Blättchen hierin ihre Erklärung. Fresnel, welcher sich mit diesen Untersuchungen besonders beschäftigt hat, trug bei allen Experimenten Sorge, dass die Ränder der Körper durchaus keinen Einfluss aus-

üben konnten, und widerlegte damit die Existenz einer abstossenden Kraft, welche nach Newton von jenen ausgehen sollte. Als er und Arago vor die eine der beiden Spalten eine Glastafel stellte, so wurden die hellen Streifen ein wenig zur Seite gerückt, und hieraus schlossen beide Naturforscher, dass sich das Licht in den stärker brechenden Mitteln langsamer fortpflanzt, als in der Luft, so wie es die Huygens'sche Theorie verlangte: durch die Versuche, die Fizeau und Foucault anstellten, ist jetzt diese Thatsache noch viel anschaulicher geworden.

Durch diese Versuche erhielt man auch ein Mittel die Länge der Wellen zu messen, und es ergab sich dieselbe für jede einzelne Farbe genau viermal so gross, als Newton für den Zwischenraum zwischen seinen Wandelungen oder Accessen bei dünnen Blättchen angenommen hatte. Diese Uebereinstimmung verbindet in wunderbarer Weise eine grosse Menge von Erscheinungen, welche scheinbar weit auseinander liegen, und die in Newton's Theorie nur eine oberflächliche Erklärung und losen Zusammenhang fanden; auch war diese Lehre von sehr grossem Nutzen zur Erklärung der später entdeckten farbigen Polarisation.

Für die Unterscheidung der verschiedenen Strahlungen ist die Bestimmung der Wellenlängen von besonderem Interesse: was zunächst die Farben anlangt, so nimmt die Wellenlänge vom Roth bis zum Violet ab, woraus folgt, dass die Schwingungen, welche die dunkeln Wärmestrahlen erzeugen, langsamer erfolgen als die, welche die chemische Thätigkeit hervorbringen. Die Länge der Welle im äussersten Roth in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie A beträgt nach Mossotti[1]) 738 Milliontel eines Millimeters, im mittleren Gelb, wo die Lichtempfindung am lebhaftesten ist, 553,5 und im äussersten Violet bei der Linie I 369: diese Zahlen geben zugleich sehr nahe die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit für das gewöhnliche Sehen an; man findet, dass die Welle am Ende des Roth doppelt so lang ist, als die des Violet, und dass der lebhafteste Eindruck genau durch die mittlere Wellenlänge hervorgebracht wird. Das Auge ist mithin empfindlich für ein Intervall, welches dem akustischen Intervalle der Octave entspricht; doch enthält dieser Zwischenraum nur einen sehr kleinen Theil der Wellen, welche wirklich bei den Strahlungen existiren.

[1]) Mossotti, Sulle proprietà degli spettri di Fraunhofer. Pisa 1845, p. 23. S.

Die Unterbrechungen des Sonnenspectrum, welche von Fraunhofer aufgefunden und als Linien bezeichnet wurden, beweisen, dass sich die Länge der Wellen, die zu uns gelangen, nicht stetig ändert, und da durch die vorzüglichen Spectroskope, deren man sich jetzt bedient, die Zahl dieser Linien ins Unendliche vermehrt worden ist, so folgt, dass von einer Welle bis zur nächsten die Länge sprungweise wächst, und dass diese Sprünge, wenngleich sehr klein, doch messbar sind. Allein durch diese Lücken ist keineswegs angezeigt, dass in den Wellen, die überhaupt im Aether entstehen können, eine Unterbrechung der Stetigkeit nothwendig stattfinden müsse, sondern dieselben verdanken ihre Entstehung anderen Ursachen, welche wir später untersuchen werden, nämlich der Absorption in der Atmosphäre der Sonne: sie verschwinden in der That in dem Lichte, welches von nur glühenden Körpern ausgesendet wird, bei denen das Spectrum continuirlich ist. Es sei gestattet, hier gelegentlich die Bemerkung einzuschalten, dass es nicht gelungen ist die Harmonie der Farben aus dem Verhältnisse der Wellenlängen oder den Beziehungen der Fraunhofer'schen Linien zu einander herzuleiten: will man die Beziehungen der Farben auffinden, deren Zusammenstellung dem Auge angenehm oder unangenehm ist, so wird es besser sein von der Länge der Wellen auszugehen, welche solchen Farben angehören, deren Zusammenstellung nach der Erfahrung der Kunst einen guten Eindruck macht.

Doch die äussersten Grenzen der chemischen und der Wärmestrahlen stehen bedeutend weiter von einander ab: nach Müller hat die äusserste Welle der dunkeln Wärme, die bisher gemessen worden ist, eine Länge von $0,^{mm}00483$, sie ist also achtmal so gross, als die der Fraunhofer'schen Linie D, welche er zu $0,^{mm}0006$ bestimmte, und sechzehnmal so gross, als die des äussersten chemischen Strahles jenseits des Violet, dessen Wellenlänge nach Esselbach $0,^{mm}0003$ beträgt: die äussersten Wärmewellen sind also etwa sechszehnmal so lang, als die äussersten chemischen. Nach Mascart ist die Ausdehnung des Spectrum noch grösser, indem derselbe die Wellenlänge des Strahles im Cadmiumlichte schon zu $0,^{mm}00210$ bestimmt, und vielleicht wird sie sich durch Anwendung der sehr empfindlichen Methode, die Stokes[1]) angiebt, im elektrischen

[1]) Müller, B. U., Arch. sc. phys., vol. 4, 1859, p. 364 und Silliman, Journal, Juli 1863, p. 108. S.

Lichte noch grösser zeigen: denn dieser Physiker erhielt ein Spectrum, dessen chemischer Theil sechsmal so lang war, als der leuchtende Theil. Fig. 16 giebt ein Bild für das Wachsen der Wellenlängen vom Violet bis zum äussersten dunkeln Wärmestrahle, indem die Ordinaten der Curve F K O annähernd die relativen Längen der Wellen in den verschiedenen Theilen des Spectrum, deren Bezeichnung mit der in Fig. 12 angewendeten übereinstimmt, erkennen lassen; aus dieser Zeichnung wird zugleich die Condensation der Strahlen auf der Seite des Roth und die Vereinzelung derselben auf der Seite des Violet anschaulich.

Aus der Wellenlänge und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergiebt sich, dass das gelbe Licht in einer Secunde 509 Billionen

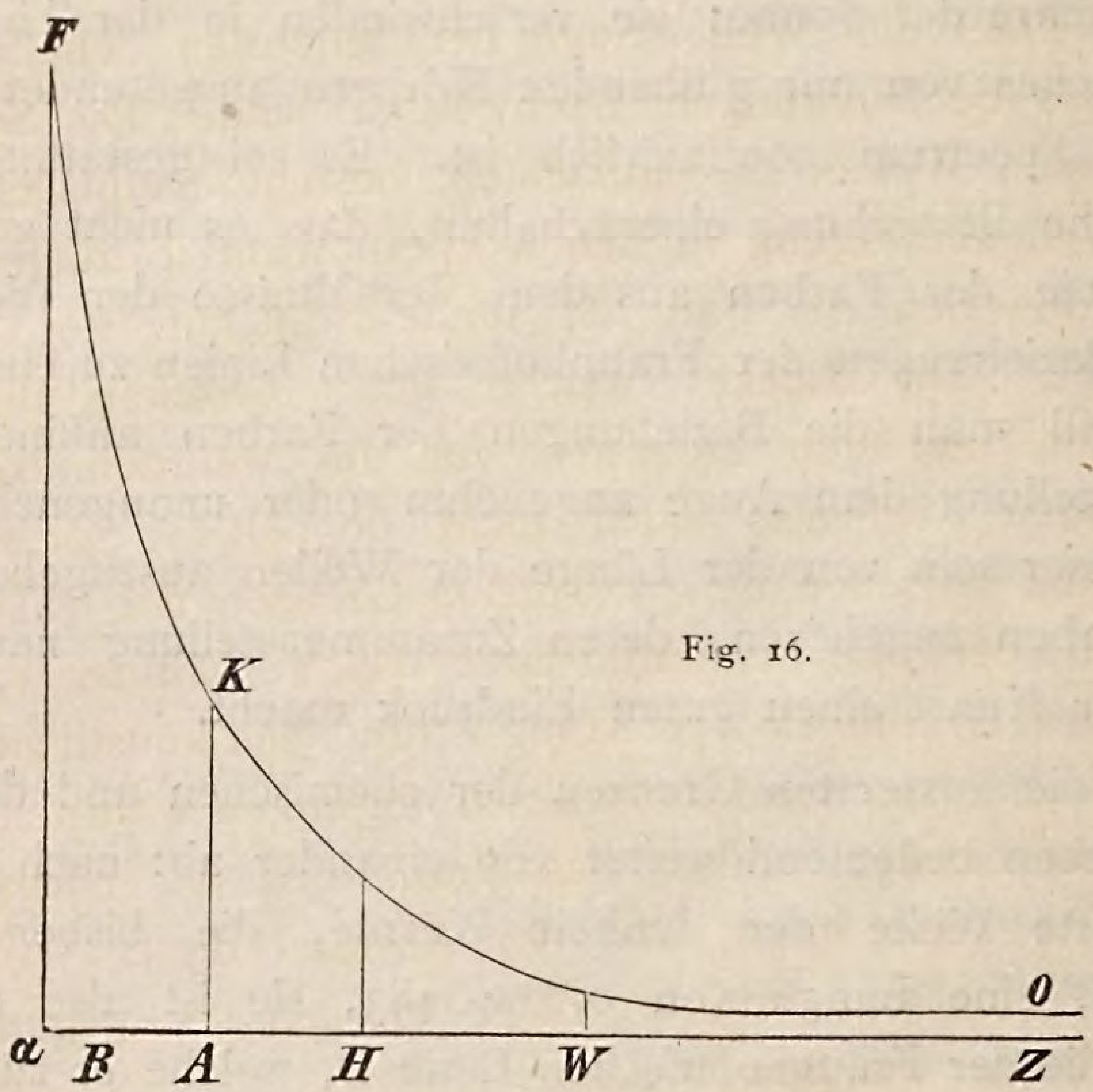


Fig. 16.

Schwingungen vollendet: deshalb kann eine einzige oder wenige auf einander folgende Wellen unmöglich auf den Sehnerv wirken, welcher für einen lebhaften Lichteindruck nur dann empfindlich ist, wenn derselbe wenigstens einige Hundertstel Secunden anhält; in dieser Zeit aber erfolgen Millionen von Schwingungen. Dies ist ein weiterer Grund, durch welchen es sich erklärt, dass das Licht, das von den Strahlen beim Durchgange durch enge Oeffnungen zur Seite abweicht, auf das Auge keinen Eindruck macht, und deshalb lässt sich die seitliche Ausbreitung des Lichtes, die doch in Wirklichkeit existirt, nicht wahrnehmen.

Es ist von Vortheil, wenn wir diese Verhältnisse mit den Verhältnissen der Schwingungszahlen des Schalles vergleichen: für den tiefsten Ton, der musikalisch verwendbar ist, nimmt man als Schwingungszahl etwa 31 an, während die Schwingungszahl der höchsten Töne 36,000 beträgt, also mehr als tausendmal so gross ist als jene. Für die Schwingungen des Aethers ist dagegen das Verhältniss der Grenzfälle ein viel geringeres, woraus man aber nicht den Schluss ziehen darf, dass es nicht auch Wellen gäbe, die sich unserer Beobachtung entziehen: es ist recht gut denkbar, dass es auch Wellen giebt, die noch länger sind, als die Wellen der entferntesten dunkeln Wärmestrahlen, und dass es uns nur an Mitteln gebricht ihre Existenz nachzuweisen. Die Wellenlänge der äussersten Wärmestrahlen, welche Müller beobachtet hat, beträgt den 1770. Theil der Wellenlänge der kürzesten Schallwellen, die nach König's Beobachtungen nachweisbar sind. Die Schwierigkeit jene kürzesten Wellen zu beobachten, besteht hauptsächlich darin, dass die Wellenbewegung in den Körpern nicht fortdauert, wie dies bei den Tonwellen der Fall ist, sondern in kürzester Zeit wieder verschwindet. Die Lücke, welche noch zwischen den längsten Wärmewellen und den kürzesten von uns wahrnehmbaren Schallwellen besteht, ist also noch nicht doppelt so gross, als der Zwischenraum zwischen den äussersten Grenzen der wahrnehmbaren Schallwellen, der, wie erwähnt, durch das Verhältniss 1:1000 ausgedrückt wird. Durch die von König erfundenen künstlichen Apparate lassen sich aber sogar noch Schallschwingungen wahrnehmen, deren Zahl 50,000 beträgt, sodass das Verhältniss der hörbaren Schallwellen auf 1:1600 steigt, und der Abstand dieser Welle von der längsten Wärmelänge kaum grösser ist, als der gegenseitige Abstand der äussersten Schallwellen.

Wenn die Körper jene ausserordentlich hohen Töne hervorbringen, so werden sie gleichzeitig heiss und gerathen sogar allmählich in Gluth: es ist also klar, dass ihre wägbaren Molecüle fähig sind alle Schwingungen auszuführen, von den langsamsten Schallschwingungen bis zu den Lichtschwingungen, von den Schwingungen, die für den tiefsten hörbaren Bass erforderlich sind, bis zu der ungeheueren Geschwindigkeit, mit welcher die äussersten chemischen Strahlen des Spectrum oscilliren, d. h. von 31 Oscillationen in der Secunde bis zu 946 Billionen.

Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, wollen wir noch be-

merken, dass die Lichtschwingungen uns einen vollständig absoluten und unveränderlichen Massstab geben können; die Länge der Welle, die der ersten Natriumlinie D oder der Wasserstofflinie C entspricht, wird immer dieselbe sein, da weder jenes Metall, noch dieses Gas seine Natur ändern kann; deshalb sind jene Wellenlängen Typen für ein Längenmass, welche ebenso unveränderlich sind, wie die Natur der chemischen Elemente selbst, und auf sie würde sich demnach ein System der Längenmasse gründen lassen. Die Kleinheit dieses Grundmasses dürfte hierbei nicht als eigentliches Hinderniss gelten, denn der Abstand zwischen ihm und dem Meter ist noch nicht so gross, als der Unterschied zwischen dem Meter und der Länge, aus welcher dieses Mass abgeleitet ist, das ist der Quadrant des Erdmeridianes; denn, wie bekannt, ist der Meter der zehnmillionste Theil dieses Quadranten: die Länge der Welle des Natriumlichtes dagegen beträgt sechs Zehnmillionstel eines Meters, für den Wasserstoff aber ist sie noch grösser[1]). Ueberdem sind die Masse der Wellen aus der Breite der Streifen abgeleitet, welche durch Gitter gebildet sind, und diese sind bedeutend breiter, sodass sie sich mit viel grösserer Genauigkeit messen lassen; darin endlich, dass sich die Messungen überall ausführen lassen und immer nothwendig zu demselben Resultate führen müssen, liegt ein sehr grosser Vortheil. Doch dies mag nur ganz beiläufig bemerkt sein: kehren wir jetzt zu unserem eigentlichen Gegenstande zurück.

Schon aus der enormen Geschwindigkeit, mit der sich das Licht fortpflanzt, lassen sich einige Schlüsse auf die Beschaffenheit jenes allgemein durch die ganze Welt verbreiteten Fluidum, des Aethers, machen. Denn da die Geschwindigkeit, mit der sich eine Oscillationsbewegung in irgend einem Mittel ausbreitet, von der Elasticität desselben abhängt, und da das Licht in einer Secunde den ungeheueren Weg von 300,000 Kilometern zurücklegt, so muss die Elasticität des Aethers einen sehr bedeutenden Werth haben; und mag dieselbe nun ihren Grund in der Beschaffenheit des Fluidum selbst haben, das nach Huyghens' Ansicht aus elastischen Kugeln zusammengesetzt ist, oder mag sie von den Rotationsbewegungen fester Aetheratome herrühren, auf alle Fälle muss man sie als ausserordentlich gross annehmen. Für diese Theorie ist es durchaus nicht nöthig über das eigentliche Wesen der Elasticität

[1]) Nach Van der Willingen hat die Welle bei der Linie C eine Länge von 6565,6 Zehnmillionstel eines Millimeters. S.

irgend eine Voraussetzung zu machen, es genügt, dass wir sie definiren als die Summe aller der beschleunigenden Kräfte, welche das Streben haben, das gestörte Gleichgewicht im Fluidum wieder herzustellen, wobei man ganz unbestimmt lassen kann, was wir uns unter einer Kraft im physikalischen Sinne zu denken haben.

Durch die Mechanik werden wir belehrt, dass die Geschwindigkeit, mit der sich eine Erschütterung in einem gleichmässigen Mittel fortpflanzt, abhängig ist von der Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der Elasticität zur Dichtigkeit, also, um es in mathematischen Zeichen darzustellen, vom Ausdrucke $\sqrt{\frac{e}{d}}$, in welchem e die Elasticität und d die Dichtigkeit bezeichnet; wenn wir die eine dieser beiden Grössen kennten, so würde es auch möglich sein die andere zu bestimmen: vor der Hand aber lassen sie sich noch nicht von einander trennen. Man sagt zwar, dass der Aether im Weltenraume ausserordentlich dünn sein müsse, und stützt diese Behauptung darauf, dass sich der Widerstand, den er der Bewegung der Planeten entgegensetzt, durchaus unserer Wahrnehmung entzieht: allein, ohne dass man eine Entscheidung darüber treffe, ob ein solcher Widerstand überhaupt vorhanden ist oder nicht, muss man doch gestehen, dass jene Behauptung eine petitio principii ist, da sie voraussetzt, dass der Aether nur zur Ausbreitung der Lichtstrahlen bestimmt sei, und nicht, dass er zugleich auch die Ursache für die Schwerkraft sei: ist aber letzteres der Fall, so kann man ihn so dicht annehmen, als man will, ohne dass er deshalb gegen die Bewegungen im Sonnensysteme irgend Widerstand leisten könnte. Andererseits hält es sehr schwer einzusehen, wie sich in einem so ausserordentlich dünnen Mittel, wie Manche annehmen, d. h. in einem Mittel, welches aus verschwindend kleinen Atomen besteht, die durch sehr grosse Zwischenräume von einander getrennt sind, eine Bewegung mit so grosser Geschwindigkeit fortpflanzen kann, und wie in ihm Wellensysteme entstehen können, bei welchen mindestens 3000 Wellen auf die Länge eines Millimeters kommen. Durch sehr subtile Berechnungen, denen Cauchy einige von Arago angestellte Versuche unterwarf, hat der genannte Mathematiker gefunden, dass in der Länge einer Welle des rothen Lichtes mindestens 200 Aetheratome enthalten sein müssen[1]).

[1]) Cauchy, Exercices d'Analyse et de Phys. Math., t. I, p. 326. S.

Andere Physiker sind in das entgegengesetzte Extrem gerathen, indem sie die Ansicht aussprachen, dass der Aether ein continuirliches Mittel sei: allein diese Hypothese ist, wie wir später sehen werden, nicht statthaft, da sich die Polarisationserscheinungen aus ihr nicht erklären lassen, für welche erforderlich ist, dass der Aether aus getrennten Molecülen oder Atomen bestehe. Eine Vergleichung seiner Dichtigkeit mit der der wägbaren Materie ist zur Zeit noch nicht ausführbar, aus dem einfachen Grunde, weil er ein Stoff ist, dessen Theilchen ganz anderen Bedingungen unterworfen sind als die Molecüle der Masse, und weil uns noch jeder Vergleichspunkt fehlt: doch werden die Untersuchungen, mit denen wir uns jetzt beschäftigen, unsere Vorstellungen bald einigermassen klären.

Das eine aber ist sicher, dass nämlich der Aether materiell ist und dass er durch die Vibrationen der in Verbrennung befindlichen Körper in Bewegung versetzt wird in eben der Weise, wie die Luft beim Schalle von den tönenden Körpern erregt wird; und zwischen beiden Classen von Erscheinungen bestehen mancherlei Uebereinstimmungen, die für das Verständniss grossen Werth besitzen. So, wie einzig und allein das Ohr im Stande ist die Schwingungen der Luft als Schall aufzufassen, während alle an- anderen Theile unseres Körpers die Erschütterungen der tönenden Körper als eine Art von Stössen empfinden, so hat auch nur das Auge die Fähigkeit die Bewegung des Aethers als Licht zu empfinden, für den übrigen Körper aber erscheinen die Schwingungen unter der Form der Wärme. — Wie die Erschütterungen der Körper und die Töne in oscillirenden Bewegungen bestehen, doch mit dem Unterschiede, dass die Träger der ersten feste, die der letzteren luftförmige Körper sind, so sind auch Licht und statische Wärme Schwingungsbewegungen, allein die ersteren gehen im Aether, die anderen in der wägbaren Materie vor sich. — Wie ferner nicht alle Schwingungen der Luft von unserem Ohre als Töne aufgefasst werden, sondern wie sich manche unserer Wahrnehmung entziehen, weil sie zu langsam, andere weil sie zu schnell erfolgen, so ist unser Auge für die äussersten Theile des Spectrums, nämlich sowohl für die dunkeln Wärmestrahlen, als auch für die chemischen Strahlen unempfindlich. — Wie die tönenden Körper mittels der Luft in gleichgestimmten Körpern Schwingungen erregen, obgleich sich dieselben in einiger Entfernung befinden, wenn nur zum Uebertragen der Bewegung eine Luftschicht vorhanden ist, so erzeugt auch ein

warmer Körper mittels des Aethers in einem entfernten Gegenstande Wärme, und so erfolgt ein Ausgleich der Temperatur durch einfache Strahlung. Nach diesem Principe ist es daher auch vergeblich Licht zu suchen, das keine Wärme besitzt, wie schon Melloni gegen Ende seiner allzu kurzen wissenschaftlichen Laufbahn erkannte. — Wie endlich die Schwingungen der tönenden Körper sehr klein sind im Vergleiche mit der Länge der Wellen, die sie in der Luft erzeugen, so auch bei den leuchtenden Körpern. Als Grove Sonnenstrahlen von einer Platinplatte reflectiren liess, die durch Poliren spiegelnd gemacht war, so fand er im reflectirten Lichte durchaus keine Aenderung, mochte die Platte kalt oder durch einen elektrischen Strom in Gluth versetzt sein.

Da sowohl die chemischen, als auch die Wärmestrahlen Interferenzerscheinungen zeigen, so werden sicherlich auch sie in einer Wellenbewegung ihren Grund haben: also auch die chemischen Wirkungen des Lichtes reduciren sich auf eine mechanische Thätigkeit, wie wir dies für die Wärmestrahlen bereits erwähnt haben. Anstatt also die Frage zu stellen: „was wird aus dem Lichte in dem Augenblicke, wo es verlöscht", hat man nunmehr zu untersuchen: „was wird aus der oscillirenden Bewegung, wenn dieselbe unseren Sinnen nicht mehr wahrnehmbar ist?" Und so wird das Problem, welches der Emissionstheorie die grössten Schwierigkeiten bereitete, ja welches durch sie gar nicht gelöst werden konnte, wenn man nicht eine Vernichtung des Lichtstoffes annehmen wollte, nur zu einem speciellen Falle der Verwandlung der Bewegung. Für jetzt mögen diese Andeutungen, die wir am geeigneten Orte weiter ausführen werden, genügen um zu zeigen, in welcher Weise die mechanische Wärmelehre in der Optik ihre wesentlichste Ergänzung gefunden hat. Es erübrigt jetzt nur noch einige allgemeine Bemerkungen über den Aether zu machen, durch dessen Thätigkeit nach unserer Meinung alle diese Wellen ausgebreitet werden, wenn sich auch manche Physiker entschieden dagegen sträuben seine Existenz anzuerkennen.

Da man immer mehr zu der Ueberzeugung kam, dass sich Newtons Emissionstheorie nicht aufrecht erhalten lässt, so sind manche neuere Physiker so weit gegangen, dass sie annahmen, das Licht könne sich einfach durch Vermittelung der wägbaren Materie ausbreiten[1]). Wir werden diese Ansicht ausführlicher auseinandersetzen,

[1]) Wir nennen unter ihnen nur den berühmten Physiker Grove, den wir zu erwähnen schon öfters Gelegenheit hatten. S.

wenn wir von der Ausbreitung des Lichtes in durchsichtigen festen Körpern sprechen werden: denn in ihnen ist der Aether mit der wägbaren Materie so eng verknüpft, dass wir hier nicht entscheiden können, ob er bei dieser Fortpflanzung allein wirksam ist. Für jetzt wollen wir annehmen, dass er alle Körper ebenso durchdringen kann, wie die Lichtmolecüle nach Newtons Lehre, dass die Körper ihm also eben solche Wege darbieten, wie nach anderen Physikern den Lichtstrahlen; und, indem wir die allgemeine Frage unberücksichtigt lassen, wollen wir uns zunächst nur mit der Ausbreitung im Weltenraume beschäftigen.

Wenn manche Physiker angenommen haben, dass der Raum zwischen den Planeten von einem Stoffe im eigentlichen Sinne des Wortes, der alle Eigenschaften der wägbaren Materie besitzt, erfüllt sei, sodass man ihn nur als eine Erweiterung der Planetenatmosphären anzusehen hat, so zögern wir nicht, diese Ansicht als widersinnig zu erklären; denn für eine solche unbegrenzte Ausbreitung der Atmosphären hat man auch nicht den entferntesten Beweis, und durch sie würde die ganze Mechanik des Himmels umgestossen. Es nützt auch nichts anzunehmen, dass jener Stoff aufs Aeusserste verdünnt sei, denn wie könnte er dann eine solche Elasticität besitzen, dass sich das Licht in ihm mit so grosser Geschwindigkeit fortpflanzte? Denn da nach dem Mariotte'schen Gesetze (welches doch auch bei solcher ausserordentlichen Verdünnung seine Geltung behalten müsste) die Elasticität mit der Dichtigkeit proportional ist, so müsste die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieselbe bleiben, welche wir bei der Bewegung stofflicher Körper beobachten, d. h. sie müsste unendlich viel langsamer erfolgen, als die des Lichtes. Fassen wir dagegen den Begriff dieser Atmosphären so, dass wir annehmen, sie seien aus einer sehr dünnen, aber zusammenhängenden Materie gebildet, deren Theilchen sich gegenseitig nur abstossen, also in elementare Atome aufgelöst sind, so erhält die Frage ein ganz anderes Ansehen und die Meinungsverschiedenheit besteht dann, wie es uns scheinen will, mehr nur noch in den Worten, als in dem Wesen der Sache, wie wir bereits im vorigen Buche entwickelt haben.

Es macht einen eigenthümlichen Eindruck, wenn man beobachtet, wie manche Physiker Alles auf die Wirksamkeit des Aethers zurückzuführen suchen, andere dagegen dieses Agens wie ein Phantasiegebilde behandeln und der Meinung sind, dass man es zur Er-

klärung der Constitution der Körper gänzlich entbehren könnte. Diese letzteren denken, wenn nur nachgewiesen ist, dass die Wärme und die Elektricität eine blosse Bewegung der wägbaren Materie ist, dann könne man auch jenes unwägbare Mittel wieder eliminiren, das dem Lichte als Träger dient.

Wir möchten dagegen sagen, dass, wenn man auch ein besonderes calorisches Fluidum nicht mehr braucht um das Wesen der Temperatur der Körper zu erklären, ein solches doch nicht entbehrt werden kann zum Verständnisse der Strahlung der Wärme, welche ganz demselben Gesetze folgt, wie die Strahlung des Lichtes. Wenn sich ferner auch viele elektrische Erscheinungen durch die Bewegung der wägbaren Materie erklären lassen, so giebt es in diesem Abschnitte der Physik eine Menge anderer Thatsachen, zu deren Erklärung dieselbe nicht genügt, man müsste denn Wirkungen in die Ferne ohne jegliches verbindendes Mittel annehmen, was nicht wohl statthaft ist, oder sich auf abstracte Kräfte berufen, von deren Wesen wir uns keine rechte Vorstellung machen können und die wir deshalb aus der Physik auszuschliessen suchen. Solche Erscheinungen sind z. B. die elektrodynamischen und magnetischen Wirkungen, welche stets, wie sich durch vielfache Versuche beweisen lässt, auch durch Räume hindurch erfolgen, welche von jeder wägbaren Materie frei sind. Nimmt man die Existenz eines Fluidum an, welches durch seine Bewegungen gewisse Wirkungen erzielt, so verleugnet man damit durchaus nicht die mechanische Theorie bei der Erklärung der Erscheinungen, ebenso wenig wie derjenige das Bewegungsprincip ableugnet, der da sagt, dass das Wasser in den Wasserhosen durch den Druck der Atmosphäre aufsteigt, oder dass der Schall durch Vermittelung der Luft zu uns gelangt. Auch erschafft man keine Phantasiegebilde, wenn man erklärt, dass Thatsachen einer gewissen Kategorie sich nur unter Voraussetzung eines solchen Mittels erklären lassen, und dass andere Erscheinungen dadurch wenigstens eine leichtere Erklärung finden; denn es ist ein Gesetz in der Physik, dass die Principien durch Schlüsse aus den Erscheinungen zu beweisen sind, und nicht umgekehrt: die Erscheinungen des Lichtes aber lassen sich ohne ein solches Mittel unmöglich erklären, und viele schwere Probleme aus anderen Zweigen der Physik werden durch seine Mitwirkung auf mechanische Thätigkeiten in viel einfacherer Weise zurückgeführt, als dies ohne ein solches Mittel möglich ist.

Dass wir uns sträuben ein solches Mittel zwischen uns und den Sternen anzunehmen, ist wohl die unwillkürliche Folge der Gewohnheit, dass wir die Existenz alles dessen leugnen, was nicht auf unsere Sinne, besonders den Gesichts- und Tastsinn, unmittelbar einwirkt: aber der einfachste Versuch zeigt uns, dass es ziemlich leichtfertig ist, wenn wir uns nur an dieses Kriterium halten: wie es im gegenwärtigen Falle geschieht. Selbst Newton, dieser warme Vertheidiger abstracter Kräfte, nahm keinen Anstand zu erklären, dass die Schwerkraft möglicherweise einem zwischenliegenden Mittel ihre Entstehung verdanken könnte[1]): und weiter giebt er zu, dass wir ohne ein solches Mittel gezwungen sein würden eine Wirkung der Körper in die Ferne anzunehmen, wovon wir uns keine Vorstellung machen können. „Man kann durchaus nicht einsehen, schreibt er in seinem dritten Briefe an Bentley, wie eine todte und leblose Materie ohne Beihilfe eines Agens, selbst wenn man dasselbe als nicht materiell voraussetzen wollte, auf eine andere Materie wirken und in ihr Veränderungen hervorbringen kann, wenn sich beide nicht unmittelbar berühren (wie es stattfinden müsste, wenn die Schwerkraft, so wie Epicur lehrt, der Materie als wesentliche Eigenschaft anhaftet). . . . Wollte man annehmen, dass die Schwerkraft dem Stoffe als wesentliche Eigenschaft anhänge, in der Weise, dass ein Körper seine Wirksamkeit auf einen fernliegenden ohne Dazwischenkunft irgend einer andern Ursache ausüben könnte, durch welche und mittels welcher ihre Kraft und gegenseitige Wirksamkeit übertragen wird, so scheint mir die Ansicht so absurd, dass ich nicht glaube, dass irgend Jemand, der durch die Philosophie an ein zusammenhängendes Denken gewöhnt worden ist, dieser Meinung anhängen könne. Die Schwerkraft muss ihre Entstehung einem Agens verdanken, welches ohne Unterbrechung und nach ganz bestimmten Gesetzen wirksam ist; ob aber dieses Agens materiell oder immateriell zu denken sei, das überlasse ich in meinen Schriften dem Leser[2])."

Diese letzten Worte sind für Einige die Veranlassung zu dem Irrthume geworden, dass sie glaubten, der Aether müsse etwas Immaterielles sein, weil er unwägbar ist. Es sind hierbei zwei

[1]) Quam ego attractionem appello fieri sane potest ut ea efficiatur impulsu vel alio aliquo modo nobis ignoto. Optics, Qu. XXIII, p. 322. S.

[2]) Man beachte, dass Newton selbst im Anfange der citirten Stelle sich für die Stofflichkeit jenes Agens deutlich genug ausspricht. S.

ziemlich verschiedene Begriffe verwechselt worden, nämlich die Trägheit und die Schwere: die letztere Eigenschaft ist für den Stoff durchaus nicht in demselben Grade wesentlich als die andere, sodass man sich wohl Materie vorstellen kann, welche keine Schwere besitzt, allein träg muss dieselbe immer sein, d. h. es muss immer eine gewisse Kraft erforderlich sein um sie in Bewegung zu versetzen. Diese Vorstellung ist so correct, dass man sogar zu der Vermuthung gelangt ist, dass jenes Fluidum, dem die Schwere mangelt, selbst die Ursache für die Schwerkraft sei. Sicherlich ist die innere Constitution des Aethers verschieden von der der Gase und der anderen Körper, welche zu unserer Anschauung gelangen; doch aus den Eigenschaften, welche wir bis jetzt an ihm kennen gelernt haben, lässt sich seine Natur noch nicht vollständig begreifen: sie wird sich erst etwas besser aus den Erscheinungen erkennen lassen, welche wir später untersuchen werden.

Dass sich der Aether im Innern aller Körper vorfindet, das kann kaum Schwierigkeiten bereiten, da man weiss, wie weit die Porosität selbst der compactesten Stoffe geht, und da man in jedem Systeme ihnen diese Eigenschaft zulegen muss, damit das Licht überhaupt einen Weg durch sie hindurch finde. Es besteht aber ein wesentlicher Unterschied bezüglich der Porosität, wie sie für die beiden Theorien des Lichtes erforderlich ist: nach der Emissionstheorie müssten nämlich die Poren nach allen Richtungen hin gerade Linien in den Körpern bilden, wovon man sich kaum eine Vorstellung machen kann, während sie nach der Undulationstheorie ganz beliebig vertheilt sein können, da sich die Lichtwellen um die Molecüle herum winden können[1]).

Die Physiker, welche den Aether verwerfen, aber annehmen, dass die Materie ausserordentlich verdünnt sei, haben die Ansicht aufgestellt, dass sich die Entstehung des Lichtes wohl dadurch erklären liesse, dass die leuchtenden Körper in wechselnden Perioden solche verdünnte Materie aussenden, und damit glaubten sie die beiden Theorien mit einander in Einklang bringen zu können: wir dagegen sind der Ansicht, dass sich durch eine solche Theorie nicht alle Erscheinungen erklären lassen, dass sie uns besonders über die Polarisation keine Aufklärung giebt. Aber auch ohne eine solche

[1]) Diese Bemerkung rührt von Nobili her: s. Nuovo tratt. d'ottica, Mailand 1820. S.

Schwierigkeit scheinen sie uns eine Thätigkeit herbeizuziehen, ohne dass dazu ein Bedürfniss vorhanden ist: denn wenn ein solches Ausstrahlen ohne Unterbrechung stattfindet, und wenn es immer seit Erschaffung des Stoffes schon stattgefunden hat, so müsste jetzt der ganze Raum mit diesen unendlich kleinen Grössen oder Monaden, wie man sie nennt, erfüllt sein und ihre Gesammtheit müsste einem ununterbrochenen Mittel gleichkommen, welches den Raum mit einem Stoffe erfüllt, der nur zurückstossende Eigenschaften besitzt und ein wirkliches Fluidum bildet, das dem Einflusse der Schwerkraft entzogen ist. Auf dieses Mittel würde sich einigermassen anwenden lassen, was Lucrez (Buch V, v. 276) über die Luft sagt:

Semper enim quodcunque fluit de rebus, id omne
Aëris in magnum fertur mare; qui nisi contra
Corpora retribuat rebus recreetque fluentis
Omnia jam resoluta forent et in aëre versa.

Eine solche verdünnte Materie müsste auf alle Gegenstände drücken und alle die Wirkungen hervorbringen, welche von anderen Physikern dem Aether zugeschrieben werden. Wenn aber der Raum mit dieser Materie erfüllt ist, wie könnte dann dieselbe unthätig bleiben bei den Bewegungen, welche in jenem vor sich gehen? Wie könnte sie nicht Antheil nehmen an den Schwingungen glühender und leuchtender Körper? Und wenn dies der Fall ist, wie unterscheidet sie sich dann wohl noch vom Aether? [1])

Die Vertheidiger dieser Ansicht sehen sich übrigens immer genöthigt, bald abstossende, bald anziehende Kräfte einzuführen, wenigstens da, wo es sich um die Erklärung der Constitution der

[1]) Redecker sprach zuerst die Ansicht aus, dass die Schwerkraft durch Körperchen hervorgerufen werde, welche von der Materie im gewöhnlichen Sinne des Wortes verschieden sind, und sich, begabt mit ungeheuerer Geschwindigkeit, nach allen Richtungen hin durchkreuzen: später fand dieselbe in Lesage einen warmen Vertheidiger. Man muss immer wieder betonen, dass es nothwendig ist den leeren Raum und die Wirkungen in die Ferne aus dem System der Physik auszuschliessen: denn noch jetzt finden sich immer wieder einzelne Naturforscher, welche zu diesen Begriffen zurückkehren, und zwar gehören zu ihnen einige sonst recht geschickte Gelehrte, deren Arbeiten der Wissenschaft wohl noch grösseren Nutzen bringen würden, wenn sie in einem andern Sinne ausgeführt würden. Dies hat uns bestimmt, bei diesen Vorstellungen etwas länger zu verweilen, obgleich das Bedürfniss hierzu jetzt eigentlich nicht mehr so gross ist. S.

Molecüle handelt: nimmt man das System des Aethers an, so vermeidet man alle diese Schwierigkeiten.

Aus diesen Entwickelungen geht offenbar zur Genüge hervor, dass die Ansichten, die auf den ersten Blick vollständig entgegengesetzt zu sein scheinen, gar nicht so sehr abweichen, als man glaubt; auf alle Fälle ist es durchaus nicht gerechtfertigt, dass manche Physiker die Hypothese des Aethers mit Verachtung behandelt und geradezu lächerlich gemacht haben. Wenn man in der Erkenntniss der Einheit der Naturkräfte so weit gelangt ist, dass man eingesehen hat, dass viele Erscheinungen, die man bisher der Wirkung verschiedener Flüssigkeiten zuschrieb, nur Bewegungen der wägbaren Materie sind, so ist es doch durchaus nicht gerechtfertigt, dies über die ganze Physik auszudehnen; und bei der Untersuchung der Thatsachen, die wir im nächsten Buche besprechen wollen, werden wir sehen, dass wir auf einem andern, ganz selbständigen Wege bei der Erklärung der Erscheinungen, welche von der Elektricität hervorgerufen werden, auch zur Annahme eines solchen Agens geführt werden. Ein bedeutender Physiker schreibt, dass die Vorstellung eines Aethers oder eines Fluidum keinen deutlicheren Begriff gäbe, als die der Kraft[1]): wir glauben dagegen, dass man sich bei den materiellen Erscheinungen eine Kraft gar nicht vorstellen kann, ohne dass dieselbe an ein materielles Object geknüpft sei, dagegen hat es keine Schwierigkeiten sich ein Fluidum vorzustellen, das der Schwerkraft nicht unterworfen ist, so wie man ja lange Zeit die Luft selbst für gewichtlos gehalten hat; ist die Masse eines solchen Fluidum in Bewegung, so wird sie selbst zur Kraft. In welcher Weise die Annahme eines solchen Mittels die Erklärung der Naturerscheinungen erleichtert, das zu zeigen haben wir uns vorgenommen, und wir hoffen, dass es uns gelingen wird nachzuweisen, wie ein solches Fluidum, welches für die Erscheinungen des Lichtes vorausgesetzt wurde, auch zur Erklärung anderer Naturerscheinungen durchaus nicht unnütz ist.

Indem wir jetzt suchen müssen, die Eigenschaften dieses Mittels aus den einfachen Thatsachen, welche wir analysiren wollen, Schritt für Schritt nachzuweisen, werden wir damit beginnen, diejenigen Erscheinungen einer Prüfung zu unterziehen, durch welche seine Stofflichkeit und Trägheit offenbar wird, um dann zu denen überzu-

[1]) Grove, Correl. des forces phys. p. 127. S.

gehen, welche uns über seine Constitution und die Art seiner Wirksamkeit aufklären.

KAPITEL IV.

Stofflichkeit des Aethers und Austausch der Bewegung zwischen ihm und der wägbaren Materie: Absorption des Lichtes.

Wir haben bisher den Aether als eine elastische Flüssigkeit bezeichnet und vor der Hand die Erklärung des Wesens der Elasticität für einen späteren Theil dieser Untersuchungen vorbehalten; ferner haben wir gesagt, dass er eine träge Masse sei und glauben daher, dass, wenn man ihn ein immaterielles Fluidum nennt, dieser Ausdruck nicht gut gewählt sei, selbst wenn man ihn nur im Gegensatze zur wägbaren Materie gebraucht, weil er immer zu ungenauen Vorstellungen Veranlassung giebt. Da der Aether alle Körper durchdringt, so würde es unmöglich sein, sein Gewicht kennen zu lernen, selbst wenn er ein solches besässe, so wie es ja auch lange Zeit unmöglich war, das Gewicht der Luft zu bestimmen, bis es gelang, dieselbe in den Recipienten zu verdichten oder zu verdünnen. Da es somit nicht möglich ist die Materialität des Aethers dadurch nachzuweisen, dass man sein Gewicht bestimmt, so bleibt nichts weiter übrig, als dass man seine Thätigkeit nachweist, d. h. dass man zeigt, dass er der Bewegung einen Widerstand entgegensetzt. Man hat versucht diesen Widerstand durch die Bewegung der Sterne nachzuweisen, und zu diesem Zwecke hat man die Beschleunigung einiger Kometen, besonders des Encke'schen, herbeigezogen. Allein dieses Verfahren ist weder sicher noch vollständig beweisend: denn einmal ist es noch durchaus nicht über allen Zweifel erhaben, dass jene Störungen der Kometen nur im Widerstande eines Mittels ihren Grund haben, und selbst wenn dies bewiesen wäre, so könnte dieses Mittel irgend ein anderes als der Aether sein, wie z. B. der Stoff, aus dem das Zodiakallicht besteht, oder die Schwärme der Sternschnuppen u. s. w.[1]); denn wir wissen,

[1]) Faye, Comptes Rendus, 1861, und Plana, Mem. Acad. di Torino vol. XXIV. S.

dass unendliche Ströme dieser kleinen Körper den Raum durchstreifen, und dass die Kometen die Bahn derselben verfolgen. Bedenkt man ferner die ausserordentlich grosse Zahl kleiner Planeten zwischen Mars und Jupiter (von denen J. Palisa am 10. Sept. 1882 den 231. entdeckt hat, Sch.), so liegt auch der Gedanke nicht allzu fern, dass ein Komet einem dieser kleinen Körper nahe kommen und durch ihn die Störungen erleiden kann, welche man auf Rechnung des widerstehenden Mittels gesetzt hat: also auch von dieser Seite her wird die Sache ziemlich problematisch. Doch auch wenn man von diesen Erklärungsversuchen absieht und nur die Schwerkraft in Rechnung zieht, ist es nicht gerechtfertigt anzunehmen, dass der Aether als Grund der Störung anzusehen ist: denn wir haben aller Wahrscheinlichkeit nach in ihm denjenigen Stoff zu suchen, der durch seine Thätigkeit gerade die Schwerkraft erzeugt; und in diesem Falle darf man nicht erwarten, dass die Himmelskörper durch ihn in ihrer Bahn gestört werden. Damit fällt auch der Einwurf Newtons, dass ein solches Mittel den Himmelskörpern Widerstand leisten müsse. Nimmt man die Existenz des Aethers an, so braucht man nicht mehr die Cartesianischen Wirbel als Entstehungsursache für die Schwerkraft anzusehen, dieselbe braucht auch nicht direct durch die Wärme- und Lichtschwingungen erzeugt zu werden, da wir uns recht wohl eine andere Entstehungsart denken können, über welche wir später sprechen werden.

Besser als die astronomischen Erscheinungen können uns die molecularen Vorgänge über die Trägheit und damit zugleich über die Stofflichkeit des Aethers belehren. Zunächst finden wir, dass jeder warme Körper, der sich im luftleeren Raume befindet, durch Strahlung an Wärme verliert, ohne dass irgend welcher Zusammenhang oder irgend welche Berührung mit anderen wägbaren Körpern stattfindet. Die Bewegung des Körpers, der aus wägbarer Materie besteht, kann also in keiner anderen Weise erlöschen, als dadurch, dass sie sich dem unwägbaren Stoffe, welcher jenen umgiebt, mittheilt: man darf diese Abkühlung auch nicht einfach dadurch erklären wollen, dass die Bewegung im strahlenden Körper erlöscht, denn man sieht ja, dass ein Theil dieser Bewegung auf die entfernten Körper übergeht: eine Erscheinung, die sich nicht hinwegleugnen lässt, wenn man nicht annehmen will, dass die Bewegung in diesen Körpern nur unter dem Einflusse des strahlenden Körpers neu erschaffen werde. Es ist also die lebendige Kraft der wäg-

baren Materie, welche sich auf den unwägbaren Stoff überträgt und dadurch im ersteren erlöscht: deshalb muss der letztere Stoff nothwendig eine gewisse Masse haben, deren Existenz nicht weniger sicher ist, wenn sie sich auch durch die Wage nicht nachweisen lässt.

Auch die strahlende Kraft der Sonne, welche für uns die reichste Quelle der Strahlungen ist, müsste allmählich schwinden wenn die täglichen Verluste nicht durch eine andere Ursache ausgeglichen würden. Wenngleich die Temperatur der Sonne enorm ist (Waterston berechnet ihren potentiellen Werth auf 6700000° C.), so würde, wenn man nur die Verluste in Rechnung zieht, welche sie beständig erleidet, die Temperatur jährlich um mindestens 1°,30 sinken. Wäre die Sonne nur ein heisser Körper, dessen Temperatur sich nicht wieder ersetzt, so lässt sich durch eine leichte Rechnung zeigen, dass sich ihre Wärme in den historischen Zeiten merklich vermindert haben müsste, was doch durchaus nicht der Fall ist. Es muss also eine Quelle geben, aus welcher diese Verluste Ersatz finden: wo dieselbe zu suchen ist, haben wir seiner Zeit erwähnt[1]), und darauf werden wir später noch wieder zurückkommen.

Umgekehrt können sich auch die Bewegungen des Aethers auf die wägbare Materie übertragen: so sehen wir z. B., dass das Licht verlöscht und sich in Wärme verwandelt, wenn es auf manche Körper trifft, sodass die schwarzen Körper und diejenigen, welche die Strahlen am wenigsten reflectiren, stark erwärmt werden. Diese Absorption steht zwar im Allgemeinen im directen Verhältnisse zu dem Lichte, welches verschwindet, sie hängt aber zugleich auch von der Natur der Strahlen und von der molecularen Beschaffenheit der Körper ab. So absorbirt ein vollkommen durchsichtiger Alaunkrystall fast alle Wärme, während schwarzes Glas oder ein Quarz, der durch Russ fast undurchsichtig gemacht ist, sie in grosser Menge hindurchgehen lässt. Diese Erscheinungen sind der Entstehung der Farben analog; sie beweisen, dass sich die dunkeln Wärmestrahlen ebenso von einander unterscheiden, wie sich dies für die Lichtstrahlen in augenfälliger Weise zeigt, und hierdurch ist Melloni's Ausdruck der Thermochrose gerechtfertigt.

Der Austausch der Bewegung zwischen dem Aether und den anderen Stoffen wird ganz besonders durch die neueren spectro-

[1]) S. pag. 165. Chemische Zersetzung durch die Wärme. S

skopischen Untersuchungen zur Anschauung gebracht. Betrachtet man durch das Spectroskop[1]) einen glühenden festen Körper, so sieht man bekanntlich ein continuirliches Spectrum, in dem alle die dunkeln Streifen fehlen, die das Sonnenspectrum zeigt, und die man als Fraunhofer'sche Linien bezeichnet: treibt man aber die Erwärmung so weit, dass sich irgend ein Element des Körpers verflüchtigt oder zu verbrennen beginnt, so zeigen sich sofort farbige Lichtstreifen, deren Färbung von der Natur des Stoffes, der sich verflüchtigt, abhängig ist. Diese farbigen Streifen, deren Zahl manch-

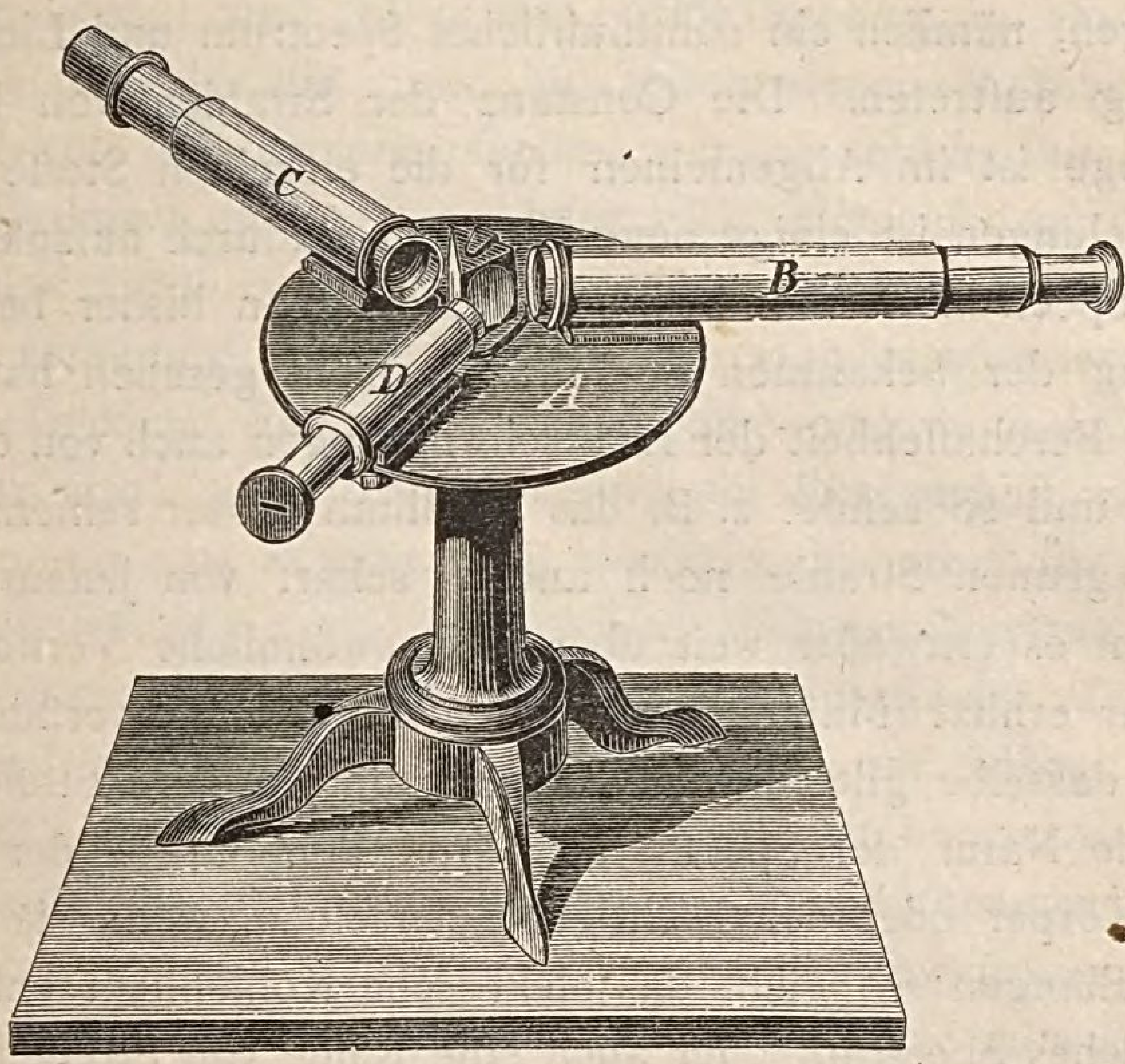


Fig. 17.

mal sehr gering ist, sind durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt, so dass das Spectrum immer ein discontinuirliches ist, und

[1]) Das Spectroskop (Fig. 17) besteht aus einem oder mehreren sehr reinen Prismen, welche von einem Strahlenbündel durchwandert werden, das von dem zu untersuchenden leuchtenden Körper kommend, zunächst durch einen sehr feinen Spalt hindurchgeht. Um die Strahlen parallel zu machen, befindet sich hinter dem Spalte im Rohre C eine achromatische Linse, die so eingestellt ist, dass sich der Spalt in ihrem Brennpunkte befindet. Das Spectrum, das man erhält, wird mit blossem Auge oder besser durch ein Fernrohr B betrachtet. Um den Abstand der Strahlen messen zu können, lässt man das Spectrum mit dem Bilde eines Mikrometers zusammenfallen, das sich im Rohre D befindet, durch eine Lampe erleuchtet wird und sich in der einen Seitenfläche des Prisma spiegelt, so dass sein Spiegelbild ebenfalls im Fernrohre B sichtbar wird. S.

weiter besitzt jedes einzelne Element sein besonderes Spectrum, das mit dem anderer Elemente nicht übereinstimmt. Gewöhnlich zeigen sich die Spectra gemischt, d. h. die hellen Linien erscheinen auf einem matt leuchtenden continuirlichen Grunde, weil den Substanzen, die sich chemisch verbinden, in der Regel noch andere beigemischt sind, deren Molecüle nur in Gluth gerathen [1]. Am schönsten und reinsten erscheinen die verschiedenen Spectrallinien, wenn die Verflüchtigung im überspringenden Funken einer galvanischen Batterie erfolgt [2], während bei Anwendung der Inductionsströme beide Erscheinungen, nämlich ein continuirliches Spectrum und Linienspectra, gleichzeitig auftreten. Die Constanz der Strahlen von bestimmter Wellenlänge ist im Allgemeinen für die einzelnen Stoffe so gross, dass es gelungen ist einige neue Elemente dadurch aufzufinden, dass man im Spectrum Linien beobachtete, die man bisher bei der Verflüchtigung der bekannten Stoffe noch nicht gesehen hatte. Doch hängt die Beschaffenheit der Lichtschwingungen auch von der Temperatur ab, und so sendet z. B. das Thallium ausser seinem charakteristischen grünen Strahle noch andere scharf von jenem getrennte aus, wenn es entweder weit über die gewöhnliche Verflüchtigungstemperatur erhitzt (Miller), oder durch Elektricität verflüchtigt wird (Grove): dasselbe gilt für das Natrium und andere Stoffe. Ferner scheint die Natur der Spectra auch von dem Grade der Compactheit der Körper oder der Dichtigkeit derselben, wenn sie gasförmig sind, abzuhängen; so giebt das elektrische Kohlenlicht entweder ein continuirliches Spectrum oder auch eine Reihe von Streifen, je nachdem man mehr oder weniger dichte Kohlen dabei benutzt (Daniell), und Robinson hat gezeigt, dass die Anwesenheit eines zweiten Stoffes Linien hervorruft, die keinem der beiden Stoffe eigenthümlich sind. Die Oxyde geben meistens breite und verwaschene Streifen, die wie Säulen oder Jalousiestreifen neben einander stehen: doch scheint

[1]) Bei den Flammen der gewöhnlichen Oellampen und bei den Gasflammen erscheinen die hellen Streifen erst im tiefsten Violet, wo die Verbrennung am lebhaftesten ist , indem diese Färbung durch die Bildung des Kohlenoxydgases entsteht: alles übrige Licht strahlt von glühenden Kohlenpartikeln aus. Im Spectrum der Flammen dagegen, welche von brennendem Holze oder Papier aufsteigen, erscheint die gelbe Natriumlinie mit grosser Lebhaftigkeit, während im Uebrigen auch wieder das continuirliche Spectrum der glühenden Kohle sichtbar wird. S.

[2]) S. Matteucci, Nuovo Cimento, Jahrg. I, 1852. S.

hierzu nicht immer erforderlich zu sein, dass eine chemische Verbindung stattfindet, da sich ähnliche Streifen auch im elektrischen Lichte im leeren Raume oder in nicht verbrennbaren Gasen beobachten lassen, in welchem Falle nur eine einfache Verflüchtigung eintritt.

Durch sehr sorgfältig ausgeführte Untersuchungen hat Plücker gezeigt, dass ein und dasselbe Gas zwei oder mehrere verschiedene Spectra geben kann: so besteht das Spectrum des Stickstoffes entweder aus breiten Bändern oder aus einzelnen feinen, aber lebhaft glänzenden Linien; und wir haben beide Spectra in ein und derselben Röhre beobachtet, nur an verschiedenen Stellen, wo der Querschnitt von verschiedener Grösse war. Auch an ein und derselben Stelle einer Röhre verwandelt sich plötzlich das Spectrum aus der einen Form in die andere, wenn in den Elektricität erzeugenden Ruhmkorff'schen Apparat eine Condensationsvorrichtung, etwa eine Leydner Flasche eingeschaltet wurde. Aehnliche Erscheinungen zeigt auch der Schwefel, der Kohlenstoff, das Chlor, das Brom u. s. w., so dass man mit ziemlicher Sicherheit die Annahme für gerechtfertigt hielt, dass die Verschiedenheit des Spectrum, welches eine und dieselbe Substanz giebt, von der Höhe der Temperatur abhängig ist: denn sowohl die Verengerung der Röhre, als auch die Beifügung eines Condensators bewirken, dass sich die Temperatur des Stromes erhöht. Allein bei neueren Versuchen, welche Schuster angestellt hat, zeigte es sich, dass jene Spectren mit breiten Bändern vollständig verschwinden und nur die aus feinen Linien zusammengesetzten übrig bleiben, wenn man den Inhalt der Röhren dadurch von allem Sauerstoff befreit, dass man ein Stück metallisches Natrium in sie einführt und dasselbe ein wenig erwärmt; hieraus geht also unzweifelhaft hervor, dass jene erste Art von Spectren ihre Entstehung der Anwesenheit von Oxyden verdankt. Dass an verschiedenen Stellen einer Röhre, deren Querschnitt verschiedene Grösse hat, gleichzeitig beide Spectra auftreten, lässt sich dadurch erklären, dass sich die Oxyde in den engeren Theilen, wo die Temperatur durch den grösseren Widerstand stärker erhöht wird, zersetzen, und dort also blos noch das Spectrum des Stickstoffes übrig bleibt, während das Spectrum der Oxyde verschwindet, wie es auch in anderen Fällen geschieht. Schwindet die Ursache der Zersetzung, so verbinden sich die Gase wieder mit einander, und hieraus erklärt es sich, dass in ein und derselben Röhre beide

Arten von Spectren abwechselnd in verschiedenen Punkten auftreten können. Selbst das Wasserstoffgas giebt bei sehr hoher Temperatur und unter starkem Drucke ein continuirliches Spectrum: seine hellen Linien werden immer breiter und weniger scharf begrenzt, je mehr die Temperatur und der Druck wächst, bis sie vollständig mit einander verschmelzen: also auch dieser Stoff verhält sich bei sehr hohen Temperaturen ebenso wie ein nur glühender fester Körper.

Innerhalb gewisser Grenzen, die man noch nicht ganz sicher kennt, zeigen sich also die Oscillationen der einfachen Molecüle in den Spectren als schmale Linien, für zusammengesetztere Gruppen, wie für die Oxyde und andere binäre Verbindungen erscheinen breite verwaschene Streifen, und endlich feste Körper geben continuirliche Spectra. Damit ist bewiesen, dass ein Zustand der vollkommenen molecularen Freiheit eintreten muss, wenn die Stoffe eine chemische Verbindung eingehen sollen.

Aus allen diesen Thatsachen lässt sich erkennen, dass wir zwei verschiedene Arten, wie die Körper leuchten, wohl von einander zu unterscheiden haben: die eine Art tritt ein, wenn die Körper glühen, die andere, wenn sie sich verflüchtigen oder chemische Verbindungen eingehen. Die erste Art des Leuchtens liesse sich füglich mit dem unregelmässigen Geräusche vergleichen, das von den Körpern ausgeht und bei welchem gleichzeitig Wellen von der verschiedensten Länge einander durchkreuzen: die andere dagegen mit den regelmässigen Tönen, welche von harmonischen Körpern, z. B. von Saiten, ausgesendet werden. Sobald ein Körper so schnell zu schwingen beginnt, dass seine Schwingungen im Auge Empfindungen hervorrufen, ohne dass er jedoch eine chemische Verbindung eingeht oder sich verflüchtigt, sendet er, so lange sich die molecularen Bande nicht lösen, Wellen von jeder beliebigen Länge aus, mit Ausnahme der kürzesten, welche die chemische Thätigkeit hervorrufen: sobald sich aber die Molecüle verflüchtigen, oder in den Zustand übergehen, den man als den repulsiven Zustand oder den Zustand der Verdünnung bezeichnet, oder wenn sie mit einander chemische Verbindungen eingehen, so beschränken sich die Schwingungen auf eine ziemlich geringe Zahl, und die Wellen sind für jeden einzelnen Stoff von ganz bestimmter Länge. Um diesen letzteren Erfolg zu erzielen, ist es offenbar nothwendig, dass der Körper in jenen repulsiven Zustand versetzt werde, welcher bei jeder Verflüchtigung oder chemischen Verwandlung eintreten muss:

nur dann bewegt sich ein Molecül, das durch seine Verbindung mit den anderen nicht mehr eingeengt wird, vollständig unabhängig und schwingt mit der Geschwindigkeit, die seiner Masse, seiner Spannung und Elasticität entspricht. Die Molecüle der einfachsten Verbindungen, wie der Oxyde, geben verwaschene Streifen, weil sie von den erwähnten Banden in ihrer Bewegung noch beeinträchtigt werden. Wächst die Temperatur, so erlangen sie allmählich absolute Freiheit, und dann schwingt jedes freie Molecül mit der ihm eigenthümlichen Geschwindigkeit, welche nur von seiner Masse und der lebendigen Kraft seiner Temperatur abhängig ist. Es kann auch eintreten, dass sich diese Kraft theilt und verschiedene Gruppen von Vibrationen hervorbringt, allein sofort wird die Vibration gestört und in Verwirrung gebracht, wenn der Körper durch moleculare Bande in seiner Bewegung gehindert ist. Diese Erscheinung lässt sich mit dem akustischen Vorgange vergleichen, dass die tönenden Körper nicht mehr harmonische Töne, sondern nur unregelmässige Geräusche geben, sobald sie bei ihren Schwingungen auf Hindernisse treffen. Deshalb haben wir oben erwähnt, dass die spectroskopischen Untersuchungen in den festen Körpern die Existenz gewisser Gruppen nachgewiesen haben, welche erst von einander gelöst werden müssen, bevor sie sich als Körper im elastischen Zustande zeigen können. Die elektrische Kraft ist das wirksamste Mittel, durch welches dieser Zustand herbeigeführt wird, weil sie im Stande ist in einem sehr beschränkten Raume eine ausserordentliche Temperaturerhöhung hervorzurufen: und deshalb erhalten wir durch ihre Anwendung die schärfsten und reinsten Spectra. Man weiss zur Zeit noch nicht, welchem Gesetze die Bildung dieser Vibrationen unterworfen ist, und es würde keinen Zweck haben irgend eine Conjectur darüber aufzustellen: allein das kann man wohl mit Gewissheit behaupten, dass die Perioden der Schwingungen im directen Verhältnisse zu der elementaren Masse und der lebendigen Kraft der Molecüle stehen müssen.

Nunmehr aber wollen wir zeigen, wie die spectroskopischen Untersuchungen ein sehr werthvolles Mittel an die Hand gegeben haben, um den gegenseitigen Austausch der Bewegung zwischen dem Aether und der wägbaren Materie zu erkennen.

Stellt man vor dem Spectroskope zwischen dem glühenden Körper und dem Spalte eine kleine Flasche aus Krystallglas mit ebenen, parallelen Seitenwänden auf, in welcher sich Joddampf oder

Dämpfe von salpetriger Säure befinden, so erscheinen im Spectrum sehr viele dunkle Linien, die denen des Sonnenspectrum gleichen, so dass dadurch die Continuität des Spectrum unterbrochen wird. Diese Erscheinung kann nur dadurch zu Stande kommen, dass gewisse einzelne Wellen von den Dämpfen absorbirt werden, während alle anderen nächst benachbarten freien Durchgang finden. Die Sauberkeit dieser Linien und die Schärfe ihrer Ränder unterscheiden diese Absorption von derjenigen, welche die Lichtstrahlen in festen Körpern erleiden, da sich letztere über mehr oder weniger breite Zonen erstreckt, deren Ränder verwaschen sind: im Grunde aber beruht sie auf demselben Principe.

Diese absorbirende Kraft ist nicht blos den beiden genannten Luftarten eigenthümlich, sondern sie zeigt sich auch in mehr oder minder hohem Grade bei allen Stoffen, wenn dieselben in die Dampfform übergeführt werden: und zwar tritt sie nicht blos bei Temperaturen auf, bei denen noch keine Lichtentwickelung stattfindet, sondern auch in der Gluthhitze, wodurch mancherlei merkwürdige Erscheinungen hervorgerufen werden. Stellt man z. B. eine Flamme, die mit Weingeist gespeist wird, in welchem Kochsalz aufgelöst ist, vor dem elektrischen Kohlenlichte auf, so erscheint im Spectrum eine ziemlich starke schwarze Linie an der Stelle, wo sich die Fraunhofer'sche Linie D befindet (Foucault)[1]. Die Dämpfe des Strontium, des Eisens und anderer metallischer Stoffe bringen dieselbe Wirkung hervor, nur liegen die dunkeln Linien an anderen Stellen des Spectrum (Bunsen). Die Versuche haben nun deutlich erkennen lassen, dass die Strahlen, welche von jenen Gasen absorbirt werden, genau mit denen übereinstimmen, die von den Flammen selbst ausgesendet werden und erscheinen, sobald man die Flammen allein durch den Spectralapparat betrachtet. So erzeugt das Natrium, das beim Verbrennen als Spectrum nur eine einzige leuchtende Linie an Stelle der vorher erwähnten Linie D giebt, in jedem anderen Lichte, das durch sie hindurch betrachtet wird, eine dunkle Linie. Wendet man zu diesen Versuchen nicht

[1]) Diese Beobachtung lässt sich auch ohne Spectroskop recht gut anstellen, wenn man zwei Weingeistflammen, deren Docht mit Salz getränkt ist, hinter einander so aufstellt, dass sich die äusseren Lichthüllen derselben, in denen das Natrium verdampft, für unser Auge decken; es erscheint dann die entferntere Flamme russig, weil ihre Strahlen vom Dampfe der näher liegenden Flamme absorbirt werden. S.

glühende Körper an, so ist wenigstens erforderlich, dass das Licht, auf welches sich die Flamme projicirt, lebhafter sei als ihr eigenes, wenn sich die Erscheinung in der angegebenen Weise zeigen soll; projicirt man die Natriumflamme auf das schwache Licht, das uns die Atmosphäre zurücksendet, so sieht man die gelbe Linie scharf über der dunkeln Sonnenlinie hervortreten; richtet man dagegen das Instrument direct nach der Sonne, so erscheint die Linie als eine viel dunklere Zone, als diejenige, die in demselben Punkte erscheint, ohne dass man die Natriumflamme einfügt. Diese Thatsachen sind unter dem Namen der Umkehrung der Spectrallinien bekannt, und aus ihnen kann man folgenden Schluss ziehen: der Dampf irgend einer Substanz absorbirt gerade diejenigen Strahlen, welche er selbst beim Verbrennen aussendet, das Ausstrahlungsvermögen und das Absorptionsvermögen betrifft genau dieselben Strahlen. Zu dieser Consequenz ist Tyndall gekommen, als er das relative Ausstrahlungsvermögen und die Thermochrosis der Gase studirte, La Prevostaye und Desains aber hatten ihre Richtigkeit bereits für feste Körper nachgewiesen.

Diese Erscheinungen geben uns die Erklärung an die Hand, auf welche Weise die dunkeln Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum entstehen: schon der genannte Physiker wusste, dass die gelbe Linie der mit Salz getränkten Weingeistflamme dieselbe Brechbarkeit besitzt, als die Linie D des Sonnenspectrum. Nach ihm wies Kirchhoff nach, dass auch die Linien vieler anderer Stoffe mit dunklen Linien des Sonnenspectrum zusammenfallen, so z. B. viele Linien aus den Spectren des Eisens, des Calcium, des Chrom, des Magnesium und anderer Metalle, wie auch mehrerer Gase, so besonders des Wasserstoffs: durch andere Beobachter ist die Zahl derselben noch bedeutend erhöht worden. Die Entstehung der dunkeln Linien, welche bis dahin ein Geheimniss war, hat sich somit als eine Folge der Umkehrung der Spectrallinien gezeigt: sie werden also hervorgerufen durch die Dämpfe jener Metalle, welche in der Sonnenatmosphäre schweben und die betreffenden Strahlen in dem Lichte, das von dem glühenden Kerne ausgeht, absorbiren. Zum Beweise dieser Theorie war es nöthig, dass man bei Gelegenheit einer totalen Verfinsterung die äussere Atmosphäre dieses Gestirnes untersuchte und beobachtete, ob sie wirklich die directen Spectra jener Metalle gab. Diese Untersuchung wurde bei der Verfinsterung vom Jahre 1868 begonnen und in den Jahren 1870

und 1871 bei den entsprechenden Ereignissen zu Ende geführt, und es hat sich in allen Fällen deutlich gezeigt, dass in jenen kurzen Momenten der Rand der Sonne von einer dünnen Schicht umsäumt ist, welche eine sehr grosse Menge von Lichtlinien giebt, die alle an Stelle der dunkeln Fraunhofer'schen Linien erscheinen.

Die Astronomen besitzen jetzt Mittel, durch welche sie an jedem Tage viele dieser Substanzen am Rande der Sonne und besonders in den Protuberanzen derselben zu erkennen vermögen, und sie sind dadurch zu dem Schlusse gelangt, dass die Sonnenflecken nichts weiter sind als Anhäufungen von Dämpfen, welche weniger heiss sind als die sogenannte Photosphäre jenes Gestirns und auf ihr schwimmen: die letztere muss aber wegen ihrer sehr hohen Temperatur, trotzdem dass sie gasförmig ist, doch ein continuirliches Spectrum geben, das nur an den Stellen Unterbrechungen zeigt, an welchen seine Strahlen von der Dampfschicht absorbirt sind, die das Licht durchwandern muss, um von der Sonne zu uns zu gelangen. Die Dicke dieser Schicht hat sich für die Metalle im Allgemeinen als ziemlich gering ergeben, denn man hat gefunden, dass sie für dieselben höchstens 1—2″, d. i. 700—1400 Kilometer beträgt, für den Wasserstoff dagegen hat man sie auf etwa 10″, also auf 7—8000 Kilometer bestimmt; bei den vulkanischen Ausbrüchen der Sonnenatmosphäre erhebt sich dagegen die Schicht in ungeheurem Masse, sodass sie bis zu einem Viertel des Sonnendurchmessers erreicht.

Wir wollen jetzt untersuchen, in welcher Weise diese Thatsachen die Theorie des Aethers fördern. Die erste Folgerung, die wir aus denselben ziehen können, ist die, dass der Aether alle Vibrationen der Körper jeder Art fortpflanzen kann, wie gross auch die Länge der Wellen sein mag; dass aber, sobald der vibrirende Körper nur eine bestimmte Anzahl von Wellen aussendet, der Aether auch nur diese fortpflanzen, mithin keine neuen hinzufügen kann. Umgekehrt können die wägbaren Molecüle die Vibrationen des Aethers in sich aufnehmen, dessen lebendige Kraft bei der Uebertragung der Bewegung auf die wägbare Materie übergeht: allein es ist leicht einzusehen, dass nicht alle wägbaren Molecüle mit allen Aetherwellen gleichzeitige Schwingungen ausführen können, sondern, dass die Empfänglichkeit für die einzelnen Wellen des Aethers von der Masse, dem Volumen und noch anderen Eigenschaften der stofflichen Molecüle abhängig sein muss. Daher

werden sich nur gewisse Gruppen von Molecülen die lebendige Kraft des Aethers aneignen, während die übrigen die Bewegungen desselben ungestört lassen. Diese Erscheinung stimmt vollständig mit der Thatsache überein, dass bei einem Saiteninstrumente, z. B. einer Harfe oder einem Claviere, durch irgend einen Ton, den man erklingen lässt, nur diejenigen Saiten mit in Schwingung versetzt werden, welche auf jenen Ton eingestimmt sind. Auch in diesem Falle entziehen die Saiten, die in Erschütterung versetzt werden, der Luft lebendige Kraft.

Durch diese Analogie gewinnt die Uebertragung der Bewegung zwischen Aether und wägbarer Materie an Deutlichkeit, und in dieser Weise lässt sich z. B. auch die Umkehrung der Spectrallinien leichter verstehen. Nehmen wir an, dass die Strahlen des elektrischen Kohlenlichtes durch eine Flamme gehen, in der Natrium verdampft, so muss man längs einer bestimmten geraden Linie immer eine doppelte Wellenbewegung unterscheiden; die eine Schwingungsbewegung geht vom Natriumlichte aus und erzeugt im Aether Wellen, deren Länge $0,^{mm}0006$ beträgt und die der dunkeln Linie D im Sonnenspectrum entsprechen; die lebendige Kraft dieser Oscillation wollen wir mit Mv^2 bezeichnen. Eine zweite Welle von gleicher Länge, deren Intensität aber eine andere Grösse MV^2 besitzt, geht von den Kohlenspitzen aus, und dringt in die Natriumflamme ein, wenn dieselbe zwischen dem Kohlenlichte und dem Spectroscope aufgestellt ist. Da nun die Molecüle des Natrium so beschaffen sind, dass sie mit dieser Welle gleichzeitige Schwingungen ausführen können, so werden sie durch den Stoss der Welle derselben eine lebendige Kraft entziehen, welche im Allgemeinen nur ein Bruchtheil ihrer vollen Kraft ist, weil die Masse der Natriummolecüle bedeutend grösser ist, als die des Aethers. Bezeichnen wir die lebendige Kraft, welche auf die Natriummolecüle übergeht, mit $\frac{1}{K} Mv^2$, so wird also nunmehr dasselbe mit einer Kraft schwingen, welche durch den Ausdruck $Mv^2 \left(1 + \frac{1}{K}\right)$ dargestellt wird, und im Verhältnisse dieser Grösse wird das Auge von dem Strahle afficirt. Sobald nun dieses Product der Grösse MV^2, welcher der Ausdruck für die Stärke des von den Kohlen ausgesendeten Lichtes ist, gleichkommt, so wird die Lichtstärke weder erhöht noch vermindert erscheinen, was aber sofort der Fall ist, sobald zwischen beiden Ausdrücken ein Unter-

schied besteht. Ist der erwähnte Ausdruck kleiner als MV^2, so werden die Strahlen des Natriumlichtes weniger intensiv erscheinen, als die benachbarten Theile des Spectrum, sie werden daher als eine dunkle Linie auf hellem Grunde sich darstellen: allein niemals wird diese Linie so absolut lichtlos sein, wie die Streifen bei den Interferenzerscheinungen. Diese Ueberlegungen finden in den Versuchen ihre volle Bestätigung; und hieraus lässt es sich auch erklären, warum gewisse Streifen, die durch Absorption bei der Sonne, in der Luft und bei den Sonnenflecken erscheinen, sich verwaschen und nicht scharf begrenzt zeigen, wie dies auch bei der Absorption in der Erdatmosphäre der Fall ist, und wie auch in manchen Sternspectren beobachtet werden kann.

Aus diesen Thatsachen folgt unzweifelhaft, dass der Aether eine gewisse Trägheit besitzt, dass er also materiell ist: sie geben uns zugleich auch das Princip an, nach welchem man die Absorption in vielen anderen Körpern zu untersuchen hat, und offenbaren das Gesetz, dass die Absorption mit der Emission in der engsten Wechselbeziehung steht, indem vorwiegend die lebendige Kraft derjenigen Wellen absorbirt wird, deren Rhythmus mit der Oscillationsgeschwindigkeit übereinstimmt, welche die Molecüle der Körper annehmen, wenn sie in selbständige Schwingungen gerathen. Allein um allgemein die Absorption und im Besonderen die, welche in zusammengesetzten Gasen und in festen Körpern stattfindet, zu erklären, muss man noch ein zweites Princip zu Hilfe nehmen, nämlich die Unregelmässigkeit in der Form der Molecüle der durchsichtigen Körper.

Dies folgt aus den schönen Untersuchungen Tyndall's und anderer Physiker, welche gezeigt haben, dass die Absorption in einem Gase um so bedeutender ist, je complicirter seine Zusammensetzung ist; so absorbirt der Wasserdampf 60mal so viel Strahlen, als eine gleiche Masse von Sauerstoff- und Wasserstoffgas [1]), und Ammoniakgas besitzt eine absorbirende Kraft, die 150mal grösser

[1]) Tyndall, Phil. Trans., 1862. Dass die absorbirende Kraft des Wasserdampfes so bedeutend sei, ist von Magnus bestritten worden, indem derselbe annahm, dass sie nur 5—6mal so viel betrage, als die der atmosphärischen Luft: Prof. Garibaldi in Genua dagegen hat die Frage zu Gunsten Tyndall's entschieden. Bezüglich der anderen chemischen Verbindungen, die im Texte erwähnt sind, ist kein Zweifel erhoben worden. S.

ist als die der elementaren Gase, aus denen dasselbe besteht. Ebenso ist die absorbirende Kraft des ölbildenden Gases, der flüchtigen Oele, welche den Blumen ihren Geruch verleihen, der Dämpfe des Spiritus und der verschiedenen Aether ohne Zweifel so gross, weil die Zusammensetzung dieser Stoffe so complicirt ist. Diese Erscheinung lässt sich erklären, wenn man annimmt, dass die Atome der elementaren Gase feste Körper von Kugelform oder doch von sehr einfacher geometrischer Gestalt sind, um welche die Aetherwellen sich sehr leicht herumwinden können, dass dagegen die zusammengesetzten Molecüle Ecken und Winkel besitzen, in denen jene Wellen bald erlöschen, wie die Schallwellen in weichen Stoffen und die Wogen des Meeres zwischen den Klippen.

Wenn in dieser Weise eine Aetherwelle verschwindet, so wird gleichwohl ihre lebendige Kraft nicht etwa vernichtet, sondern durch dieselbe werden in der wägbaren Materie langsamere Vibrationen hervorgerufen, welche entweder im Körper eine Temperaturerhöhung bewirken, oder auch die enge Verbindung der Molecüle lösen und den Elementen, welche in dichten Gruppen mit einander vereinigt sind, die Freiheit geben: im letzteren Falle wird also durch das Licht eine chemische Analyse herbeigeführt, eine Erscheinung, die so wichtig ist, dass wir sie im nächsten Kapitel ausführlicher besprechen wollen.

Für jetzt wollen wir noch den Gedanken weiter verfolgen, dass das Spectroskop uns den glänzendsten Beweis für die Identität der Materie im ganzen Weltenraume liefert: denn da die Natur des Lichtes, das ein Körper aussendet, uns über die chemische Beschaffenheit desselben belehrt, so versuchte man bald dieses Kriterium auch auf die Fixsterne anzuwenden, und damit ist man zu Resultaten gelangt, welche im höchsten Grade überraschend sind.

Nach der Beschaffenheit ihrer Spectren zerfallen die Fixsterne in folgende vier Haupttypen [1]):

Der erste Typus umfasst die weissen Sterne: wie Sirius, α Lyrae, die hellen Sterne β, γ, δ, ε, ζ des grossen Bären u. a. Das Spectrum dieser Sterne ist fast continuirlich, denn es ist nur

[1]) Man darf diese vier Typen nicht mit den von Rutherford aufgestellten verwechseln, welche nur nach der scheinbaren Färbung und nicht nach Spectrallinien unterschieden werden. S.

durch drei ziemlich breite dunkle Streifen: den ersten im Roth an Stelle der Linie C des Sonnenspectrum, den zweiten im Blaugrün übereinstimmend mit F, den dritten im Violet nahe bei der Linie G unterbrochen: bei den hellsten unter diesen Sternen kommt hierzu noch eine vierte Linie von noch grösserer Brechbarkeit. Auch im Grün und Gelb hat man noch sehr feine Linien aufgefunden, die sich aber nur sehr schwer beobachten lassen; gleichwohl kann man annehmen, dass die scheinbare Continuität nur von der geringen Vergrösserung der Bilder herrührt, da man wegen der geringen Helligkeit der Sterne keine stark vergrössernden Instrumente anwenden kann: vermuthlich existiren auch bei ihnen noch andere Linien, die sich aber wegen ihrer Feinheit unserer Wahrnehmung entziehen.

Zum zweiten Typus gehören die gelben Sterne, wie Pollux, Capella, Arctur u. s. w., deren Spectren mit dem der Sonne übereinstimmen, indem sie ebenfalls eine grosse Zahl feiner dunkler Linien enthalten, die von einander getrennt sind und sich an denselben Stellen befinden, wie im Sonnenspectrum.

Zum dritten Typus sind die rothen Sterne zu rechnen, wie α Orionis, α Herculis, β Pegasi u. a. In den Spectren dieser Gruppen findet man zwei ganz verschiedene Arten von Streifungen: denn einmal beobachtet man bei ihnen die bekannten Linien des Sonnenspectrum, nur dass dieselben breiter und verwaschener sind, was auf eine viel stärkere Absorption durch die Stoffe, denen die Streifen angehören, und unter denen sich besonders das Eisen bemerklich macht, hindeutet; ausser diesen feinen Linien beobachtet man aber noch breite, verwaschene Zonen, welche in ihrer Erscheinung an die breiten Streifen erinnern, die die Erdatmosphäre im Sonnenspectrum erzeugt, und die sich nicht weiter in feine Linien auflösen lassen, wahrscheinlich weil sie im Allgemeinen mit den nebelartigen Streifen des Sonnenspectrum übereinstimmen. Diese beiden Arten von dunkeln Zwischenräumen sind wohl von einander verschieden, so dass man nicht die Zonen mit den Streifen oder Linien verwechseln darf.

Einige rothe Sterne haben ein Spectrum, das sich von dem der vorhergehenden durch mehrere Eigenthümlichkeiten unterscheidet, weshalb wir sie zu einem vierten Typus rechnen: bei denselben erscheinen nur wenige helle Linien, welche aber ein ziemlich starkes Licht besitzen und durch breite dunkle Zwischenräume von einander

getrennt sind; gewöhnlich liegt bei ihnen ein farbiger Streif im Roth, ein zweiter im Grün und ein dritter im Blau. Die Grenzen dieser Farben fallen in der Regel mit den dunkeln Linien gewisser Dämpfe zusammen, besonders mit denen, die von Kohlenstoffverbindungen herrühren. Hieraus könnte man vermuthen, dass die dunkeln Zonen jener Sterne durch starke Absorption in ihren Atmosphären erzeugt werden. Es ist wohl zu beachten, dass die rothen Sterne gewöhnlich veränderlich sind. Nur wenige Sterne geben direct die Wasserstofflinien, wie γ Cassiopejae, β Lyrae u. a.

Viele Nebelflecke haben ein continuirliches Spectrum; für den grösseren Theil aber ist das Spectrum von dem der Sterne durchaus verschieden und reducirt sich auf drei helle Linien, von denen die lebhafteste mit der Linie F des Sonnenspectrum zusammenfällt und als eine Wasserstofflinie anzusehen ist, während von den beiden anderen Linien die eine dem Stickstoffe, die andere einer unbekannten Substanz angehört. Solcher Art ist das Spectrum des Orionnebels, wie überhaupt aller sogenannter planetarischer Nebel.

Die Cometen haben ein Spectrum, das ihnen ganz eigenthümlich ist und aus drei Zonen besteht, von denen die eine in das Grün, die zweite in das Azur und die dritte in das Gelb fällt. Bis jetzt ist es schwer gewesen die Natur dieser Streifen festzustellen, doch schliessen sie sich gut an die Sterne des vierten Typus an, ohne jedoch mit demselben übereinzustimmen, so dass man wohl annehmen darf, dass diese Himmelskörper eigenes Licht besitzen. Der von Winnecke im Jahre 1868 entdeckte Comet zeigte besonders das Spectrum des Kohlenwasserstoffes: da man auch in mehreren Meteorsteinen Kohlenstoff aufgefunden hat, so ist man wohl zu dem Schlusse berechtigt, dass die Materie, die sich an den Grenzen des Raumes vorfindet, nicht wesentlich von derjenigen verschieden ist, welche wir täglich zur Hand haben. Unterscheidet sie sich vielleicht von ihr durch die Anordnung ihrer Molecüle? Darüber eine klare Vorstellung sich zu machen ist nicht leicht. In einem früheren Kapitel haben wir schon über den Zustand der Dissociation, in welchem sich wahrscheinlich die Materie der Cometen befindet, einige Bemerkungen gemacht: die Resultate, welche uns die Spectralanalyse liefert, bestätigen vollkommen die Wahrheit unserer Annahmen.

KAPITEL V.

Chemische Wirkungen des Lichtes. Fluorescenz und Phosphorescenz. Mechanische Wirkungen der Strahlen.

Unter dem Einflusse des Lichtes erfolgt bald die Zersetzung chemischer Verhindungen, bald die Vereinigung der Elemente. Werden Silbersalze durch das Licht geschwärzt, so geschieht dies dadurch, dass sich die Elemente, welche das Salz bilden, von dem Metalle trennen und neue Verbindungen eingehen, während das Metall in Form eines sehr feinen schwarzen Pulvers auf der Platte zurückbleibt. Alle Bestandtheile, mit Ausnahme des reducirten Metalls, werden von der Platte mittels unterschwefligsauren Natrons oder Cyankaliums abgewaschen, welche Stoffe auf das Metall nicht einwirken, und dadurch wird das Bild fixirt, d. h. das Licht hat nun weiter keinen Einfluss auf dasselbe: damit ist aber nicht ausgeschlossen, dass im Laufe der Zeiten und unter dem Einflusse der Bestandtheile der Atmosphäre Oxydationen und andere Veränderungen eintreten können.

Als Beispiel dafür, dass Stoffe unter dem Einflusse des Lichtes Verbindungen eingehen, erwähnen wir die Vereinigung des Chlors mit dem Wasserstoffe, woraus sich Salzsäure bildet, eine Vereinigung, die im directen Sonnenlichte so schnell vor sich geht, dass eine heftige Explosion erfolgt. Um die Intensität der chemischen Wirkungen des Lichtes zu bestimmen, haben Bunsen und Roscoe diese Vereinigung benützt, sie aber im schwachen Lichte langsam eintreten lassen: durch ihre Versuche hat sich gezeigt, dass die Intensität des Lichtes abnimmt, wenn dasselbe chemische Verbindungen zu Stande bringt; also bei der chemischen Arbeit wird die lebendige Kraft der Welle aufgebraucht. Auch die Lichter der gewöhnlichen Flammen, wie das des Leuchtgases, bringen unzweifelhaft chemische Wirkungen hervor, aber ihre mechanische Kraft ist in diesem Betracht geringer als diejenige, welche sie entwickeln, indem sie Wärme erzeugen. Berechnet man für das Leuchtgas beide Kräfte in mechanischen Aequivalenten mit Hilfe der Temperatur, welche die Chlorwasserstoffsäure entwickelt, wenn sie sich auf gewöhnliche Weise bildet, so ergiebt sich, dass die mechanische Wirkung der Lichtstrahlen kaum den dritten Theil so viel beträgt, als die der

Wärmestrahlen [1]). Bei den gewöhnlichen elektrischen Funken, wie auch im elektrischen Kohlenlichte und in den Flammen, die bei einer sehr energischen Verbrennung sich bilden, sind solche Strahlungen in viel grösserer Menge vorhanden: verbrennt Magnesium in der Luft, wodurch Magnesia gebildet wird, so liefert dasselbe unter allen künstlichen Lichtern mit Ausnahme des elektrischen Kohlenlichtes die grösste Menge solcher Strahlen; ihre Wirkung ist ebenso gross, wie die eines Theiles der Sonnenoberfläche von gleicher scheinbarer Grösse, wenn sich die Sonne in einer Höhe von 9° über dem Horizonte befindet. Die chemische Kraft und die Leuchtkraft sind hierbei durchaus nicht proportional: denn während die Leuchtkraft der Sonne 525mal so gross ist, als die des Magnesiumlichtes, so ist ihre chemische Kraft nur 37mal so gross. Auch das elektrische Kohlenlicht ist verhältnissmässig viel reicher als das Sonnenlicht, trotzdem dass seine Temperatur gewöhnlich auf höchstens 3000° geschätzt wird, also viel geringer ist als die der Sonne. Nach den Experimenten, die wir mit einer Säule von 50 Elementen angestellt haben, beträgt die Lichtstärke kaum $\frac{1}{80}$, während die Intensität der Wärme $\frac{1}{44}$ beträgt.

Aus den Arbeiten, die Bunsen und Roscoe ausgeführt haben, ergiebt sich, dass das Sonnenlicht, welches auf die obere Grenze unserer Atmosphäre trifft, im Stande ist, in jeder Zeitminute die Verbindung von so viel Chlorwasserstoffsäure zu bewirken, dass dieselbe eine Säule bilden könnte, welche die erleuchtete Fläche zur Basis hat und deren Höhe 35^m beträgt: die Wirkung der Strahlen, welche bis zur Oberfläche der Erde gelangen, beträgt hingegen hiervon nur den dritten Theil; der Rest ist in der Atmosphäre absorbirt. Es hat keine Schwierigkeit das mechanische Aequivalent dieser Kraft zu bestimmen, da man weiss, dass ein Cubikcentimeter Wasserstoffgas, welcher sich mit Chlor verbindet, so viel Wärme entwickelt, dass dadurch die Temperatur eines Cubikcentimeter Wasser um 2°,08 C. erhöht wird: ohne diese Rechnung weiter auszuführen kann man doch leicht sehen, dass sich eine ungeheure Kraft ergiebt, die sich wohl mit der Kraft der Wärmestrahlen vergleichen lässt.

[1]) Phil. Trans. 1859, II, pag. 890. S.

Schon seit langer Zeit haben die Botaniker gefunden, dass das Licht diejenige Kraft ist, welche die Entwicklung des Chlorophylles bewirkt und die Pflanzen wachsen und ihre Früchte reifen lässt, während sie ohne dasselbe verwesen und verkümmern, bevor ihre Samen zur Entwicklung gelangen. Hierdurch hat man die Ueberzeugung gewonnen, dass es nicht genügt, die Pflanzenzonen nur aus dem Verlaufe der isothermischen Linien zu erklären, sondern dass man auch auf diejenigen Linien Rücksicht nehmen muss, welche die Vertheilung des Lichtes auf der Erdoberfläche bestimmen: zu der Verbreitung des Lichtes tragen nun auch die Wolken im hohen Grade bei, und sie bringen auch das Leben dorthin, wo wegen der Schwäche der directen Strahlung vollständige Dürre herrschen würde [1]). Die chemische Wirkung auf die Pflanzen wird besonders von den gelben Strahlen hervorgebracht; ausserdem hat man aber auch Reagentien kennen gelernt, welche durch die Einwirkung der rothen Strahlen Aenderungen erleiden.

Doch die chemischen Wirkungen des Lichtes erstrecken sich auch noch weiter als nur auf Pflanzen und photographisches Papier: und wir brauchen nur an den allbekannten Einfluss zu erinnern, den es auf die Färbung des Pelzes der Thiere besitzt, und an die grosse Zahl von Farbentönen, die es abändert und zerstört, oder in einzelnen Fällen auch hervorruft; wie schon den Alten bekannt war, entsteht ja der Purpur dadurch, dass sich die Färbung gewisser Stoffe, die von einigen Weichthieren (Purpura patula, Murex brandaris u. a.) herrühren, im Lichte verändert. Es ist in der That erstaunlich, dass man eine so weit verbreitete Thätigkeit Jahrhunderte lang kaum gekannt hat, geschweige, dass man sie einer Untersuchung unterworfen hätte: liegt da nicht die Vermuthung nahe, dass vielleicht noch jetzt manche andere Kraft sich unserer Aufmerksamkeit entzieht, da unsere Kenntniss der Natur doch immer noch recht mangelhaft ist?

Es ist von hohem Interesse einen Vergleich anzustellen, wie die beiden Arten organischer Wesen, die den Erdkreis bevölkern, die Pflanzen und die Thiere, in gerade entgegengesetzter Weise wirksam sind. Die chemische Thätigkeit der Thiere ist bekanntlich ausschliesslich eine oxydirende; in ihrem Körper bilden sich be-

[1]) Bunsen und Roscoe, Philos. Trans., a. a. O. S.

ständig chemische Verbindungen und hierbei werden für jedes Kilogramm Kohlenstoff, welches sich mit Sauerstoff verbindet, 8080 Calorien entwickelt: auf diese Weise wird eine mechanische Kraft entwickelt, die ihnen die Energie zur Arbeit verleiht. Die Thätigkeit der Pflanzen ist umgekehrt eine reducirende, und es muss daher jedes Kilogramm Kohlenstoff, dem der Sauerstoff entzogen wird die erwähnte Wärmemenge absorbiren: für die hierzu erforderliche Kraft ist aber die Sonne die einzige Quelle. Die Pflanze befreit den Sauerstoff vollständig aus seinen Verbindungen, der Kohlenstoff erscheint dagegen bei ihr niemals in vollkommener Reinheit, sondern stets mit anderen Stoffen in Verbindungen, welche aber nicht sehr beständig sind: im Thierkörper gehen nun diese Verbindungen bei der Verbrennung in andere über, die mehr Bestand haben, wie Kohlenoxydgas, Kohlensäure u. s. w. Die Masse des Kohlenstoffes, welcher jetzt verbrannt wird, ist enorm, und man hat berechnet, dass allein die Dampfmaschinen täglich 16 Milliarden Tonnen Kohlensäure in die Luft strömen lassen. Wie soll nun die bewaldete Oberfläche, die ohnedies jetzt immer mehr reducirt wird, im Stande sein, ausser der Menge, die schon von jeher von den Feuerherden und durch das Athmen der Thiere geliefert wurde, auch noch dieses Quantum zu zersetzen?

Auch die dunkeln Strahlen können chemische Thätigkeit entwickeln, und es ist dem Chemiker Draper gelungen, auch den Theil des Spectrum, der in der Nähe des Roth liegt, zu photographiren; allein in der Regel geben Körper, welche nur glühen, keine oder doch nur wenige active chemische Strahlen, woraus zu folgen scheint, dass zur Erregung dieser Strahlen die Auflösung der Materie in vollständig getrennte und freie Molecüle, also ihre Verflüchtigung erforderlich ist. Durch diese Erscheinung findet also das schon früher angedeutete Gesetz seine Bestätigung, dass jeder chemischen Thätigkeit eine Verdünnung der Materie vorausgehen muss, und dass auch unter dieser Bedingung nur die kleinsten Gruppen der Molecüle fähig sind Schwingungen von so kurzer Wellenlänge auszuführen, dass dadurch Zersetzungen in anderen Körpern bewirkt werden. Als Tyndall die dunkeln Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen dadurch getrennt hatte, dass er das Licht durch eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gehen liess, erhielt er keine chemischen Wirkungen, sondern es gelangen nur noch Glühversuche.

Die kürzesten Wellen besitzen noch eine andere Eigenschaft, durch welche sie sich von den anderen unterscheiden; sie erregen nämlich in anderen Körpern secundäre Wellensysteme, durch die jene leuchtend werden und auch dann noch Licht aussenden, wenn die Strahlung von Aussen aufgehört hat; dieses Leuchten nennt man Phosphorescenz. Alle feste Körper mit Ausnahme der Metalle können solches Licht erzeugen, am bekanntesten in dieser Beziehung aber sind der Phosphor, der bononische Leuchtstein, den man durch Glühen von Tragantschleim mit schwefelsaurem Baryt erhält, der Canton'sche Phosphor, der aus Austerschalen, die mit Schwefelpulver calcinirt sind, besteht, der Flussspath, gewisse Edelsteine u. a., welche noch längere Zeit im Dunkel fortleuchten, während die Leuchtkraft anderer Körper sehr bald erlischt. Die Erscheinungen der Phosphorescenz wurden von den Anhängern Newton's als ein unwiderleglicher Beweis dafür angesehen, dass das Licht aus einem Stoffe bestehe, welchen jene Körper aufsaugen, um ihn nachher ganz allmählich wieder auszustrahlen [1]). Allein dieser Schluss ist falsch: denn wäre diese Behauptung richtig, so müsste das Licht, das die phosphorescirenden Körper aussenden, von derselben Beschaffenheit und Farbe sein, wie das auffallende Licht, was durchaus nicht der Fall ist: die chemischen Strahlen sind nämlich hierzu die wirksamsten, das phosphorische Licht dagegen besteht aus Strahlen von wesentlich anderer Brechbarkeit und Farbe, als die Strahlen besitzen, die es am lebhaftesten erregen.

Im Gegentheil zeigen diese Erscheinungen, dass unter dem Einflusse des schwingenden Aethers die Molecüle der Körper Erschütterungen erfahren, ganz in derselben Weise, wie die Körper durch den Schall in harmonische Schwingungen versetzt werden, welche auch noch eine Zeit lang anhalten können, wenn auch die erregende Ursache zu wirken aufgehört hat. Diese Ansicht wird noch dadurch unterstützt, dass die Phosphorescenz um so lebhafter ist und um so länger andauert, je mehr die Materie verdünnt ist und der Druck der Luft nachlässt, wie z. B. in Geissler'schen Röhren, weil dann die Molecüle grössere Freiheit besitzen [2]). Bei den letzteren Erscheinungen scheinen freilich noch Kräfte anderer

[1]) Priestly, op. cit., par. VI, cap. II. S.

[2]) Auch die starke Erregung der Phosphorescenz durch Crookes' strahlende Materie (Procced. of the R. Soc., Vol. XXVIII, No. 195, p. 477) spricht hierfür. Sch.

Art, besonders elektrische, sich einzumischen, denn wir sehen, dass zu den phosphorischen festen Körpern nur solche gehören, welche die Elektricität schlecht leiten, und dass schon ein wenig Feuchtigkeit genügt, um diese Eigenschaft bei den wirksamsten unter ihnen zu zerstören. Dass das elektrische Licht sich besonders dazu eignet Phosphorescenz zu erregen, mag wohl daher rühren, dass es so ausserordentlich reich an chemischen Strahlen ist; doch scheint es auch nicht unmöglich, dass das Licht direct die Elektrisirung der Körper bewirken könne, ebenso wie dies durch manche sehr schwache mechanische Vorgänge geschieht, und mehrere neue Versuche, auf welche wir später zurückkommen werden, scheinen diese Ansicht zu begünstigen.

Da aus diesen Thatsachen hervorging, dass unter dem Einflusse der Schwingungen des Aethers die Körpermolecüle selbst in wirkliche Schwingungen gerathen, so haben die Physiker in der neueren Zeit hieraus einen neuen Weg gefunden um die dauernde Färbung der Körper zu erklären: die Farben der Gegenstände würden danach ihren Ursprung finden in Schwingungen der Theilchen selbst, die mehr oder weniger mit den Schwingungen des auffallenden Strahles übereinstimmen; damit hat man die Newton'sche Erklärung aufgegeben, nach welcher die Farben in ähnlicher Weise entstehen sollten, wie bei den dünnen Blättchen.

Die chemischen Strahlen bringen in der Regel auf unser Auge keinen Eindruck hervor: fallen sie aber auf gewisse Substanzen, wie z. B. auf Lösungen von schwefelsaurem Chinin, auf manche Kohlenwasserstoffverbindungen, wie Petroleum, auf Uranglas u. s. w., so können sie sichtbar werden, indem sie eine Erscheinung hervorrufen, die man mit dem Namen der Fluorescenz bezeichnet. In diesem Falle ist jedoch die Sichtbarkeit nur eine indirecte, denn unter der Einwirkung des Körpers haben die Strahlen ihre Brechbarkeit geändert, wovon man sich überzeugen kann, wenn man einen so beleuchteten Streifen durch ein Prisma anblickt: das Licht, das von ihm ausgeht, lässt sich nämlich fast wie weisses Licht in verschiedene Farben zerlegen. Man kann daher nicht sagen, dass hierbei eine Oscillation von jenen Körpern wieder zurückgeworfen werde, die mit der auftreffenden Welle isochron sei: es tritt hier ein ähnlicher Fall ein, wie wir bei den phosphorischen Lichtern erwähnt haben; deshalb hat man beide Classen von Erscheinungen in eine einzige vereinigt, nur mit dem Unterschiede, dass bei der Phos-

phorescenz die Schwingungen noch eine Zeit lang anhalten, während sie bei der Fluorescenz sogleich erlöschen, wenn die erregende Ursache zu wirken aufhört. Allein da nicht alle phosphorischen Substanzen zugleich auch Fluorescenz zeigen, wenigstens nicht in gleich hohem Grade, wie es doch stattfinden müsste, wenn jene Annahme richtig wäre, so scheint es doch geboten, beide Erscheinungen auch fernerhin durch besondere Namen zu unterscheiden.

Bei der Fluorescenz tritt der Fall ein, dass kurze Wellen die Entstehung langer verursachen: Tyndall hat dagegen einen Versuch ausfindig gemacht, bei welchem die entgegengesetzte Erscheinung auftritt, indem durch die dunkeln Wärmestrahlen mit grosser Wellenlänge Körper zum Glühen gebracht werden und zu leuchten anfangen; diese Erscheinung, bei welcher also durch lange Wellen kürzere erzeugt werden, bezeichnet er als Calorescenz. Aus diesen Thatsachen geht hervor, dass die wägbare Materie auf den Aether einwirkt; allein die Physiker sind darin noch nicht mit einander einig, wie sie diese beiden Erscheinungen in ihrer charakteristischen Verschiedenheit erklären sollen, wenn sie auch im Grundprincip übereinstimmen, dass dieselben Oscillationserscheinungen sind. Da die entstehenden Wellen gewöhnlich weniger brechbar sind, als die, durch welche sie hervorgerufen werden, so halten manche Physiker diese Erscheinungen für eine ähnliche Wirkung, wie diejenige, welche man in der Akustik als Stösse bezeichnet, und welche dadurch entsteht, dass zwei Töne, welche in einem gewissen Verhältniss zu einander stehen und gleichzeitig erklingen, einen dritten viel tieferen Ton, den man Combinationston nennt, erzeugen: in gleicher Weise sollen auch durch das Zusammentreffen verschiedener Schwingungen in den Molecülen viel langsamere Oscillationen entstehen. Andere dagegen meinen, dass die Wellen bei der Fluorescenz nur durch die Oscillation des Aethers erzeugt werden und dass sie in demselben unter dem Einflusse der wägbaren Materie entstehen, ebenso wie sich in der Akustik an den Mauern parallele Wellen, die man auch als stehende Wellen bezeichnet, sich bilden, welche sich von den einfach reflectirten Wellen wohl unterscheiden (Angstroem).

Wir wollen es wagen, hierfür eine neue Hypothese aufzustellen. Man kann öfters leicht beobachten, wie die Meereswellen bei ihrer Annäherung an die Küste unter der Einwirkung des Grundes sich zu einer Kammlinie ausdehnen, welche mit der Richtung des Ufers

parallel ist, wie sie sich dann an der Küste brechen und neue Wellen erzeugen, deren Länge verschieden ist von der der Wellen in der hohen See. Beachtet man diese Thatsache, so scheint es uns durchaus nicht unmöglich, dass sich auch die Aetherwellen beim Zusammentreffen mit gewissen Körpern brechen können, dass sich dabei ihre Länge ändert, und dass sie diffuse Wellen von anderer Brechbarkeit erregen: wir sagen ausdrücklich diffuse, weil das Licht, das bei der Fluorescenz zurückstrahlt, in Wirklichkeit nach allen Seiten hin zerstreut wird, so dass man die Erscheinung nach jeder beliebigen Richtung hin erblicken kann.

Die wahre Erklärung dieses schwierigen Gegenstandes wird man erst durch weitere Forschungen auffinden können: wir müssen uns vor der Hand damit begnügen, dass wir aus jenen Erscheinungen den Schluss ziehen, dass die Vereinigung der Oscillationen des Aethers mit denen der wägbaren Materie Bewegungen hervorrufen kann, welche von den erregenden Bewegungen verschieden sind. Weiter können wir schliessen, dass nicht jede Lichtentwickelung in einer bedeutenden Temperaturerhöhung ihren Grund hat, sondern dass gewisse chemische oder moleculare Thätigkeiten direct kleine Wellen hervorrufen können, welche auf unseren Gesichtsinn einwirken. In dieselbe Classe von Erscheinungen müssen wir wohl auch das Licht rechnen, das von manchen Insecten und anderen Thieren, besonders solchen, die im Meere leben, ausgesendet wird, und das sich bei manchen langsamen Oxydationen, wie bei der des Phosphors, verwesender Fische und anderer Stoffe, entwickelt.

Directe mechanische Wirkungen hat man bisher durch das Licht noch nicht erzielen können, man müsste denn in diese Kategorie die Thatsachen rechnen, die Poggioli bei sensitiven Pflanzen beobachtet hat, welche sich zurückzogen, als würden sie durch eine mechanische Kraft zurückgedrängt, wenn sie starkem Sonnenlichte ausgesetzt wurden [1]): dagegen haben die Versuche Becquerel's, welche Grove mittheilt [2]), den Beweis geliefert, dass viele rein mechanische Thätigkeiten im Stande sind, chemische Wirkungen hervorzubringen. In gleicher Weise verursachen auch die Strahlungen auf indirectem Wege eine sehr grosse Zahl von mechanischen Thätigkeiten, und es muss nunmehr unsere Aufgabe sein, das Zustandekommen dieser

[1]) S. Scritti inediti di A. Poggioli, Rom, 1862. S.

[2]) Corrél. des forces phys. S.

Wirkungen etwas ausführlicher zu besprechen, zu welchem Zweck wir auch die bisher mitgetheilten Thatsachen unter einem allgemeinen Gesichtspunkt zusammenfassen müssen [1]).

In dem Augenblicke, in welchem die Strahlen der Sonne in der wägbaren Materie, auf welche sie einwirken, eine Arbeit verrichten, verlöscht die lebendige Kraft sowohl ihrer Wärmestrahlen als auch ihrer chemischen Strahlen; die Arbeit, welche durch dieselben ausgeführt wird, ist eine doppelte, nämlich Erwärmung und chemische Thätigkeit. Wenn zunächst die Vibrationen, die von der Sonne kommen, eine Temperaturerhöhung oder statische Wärme erzeugen, so geschieht dies dadurch, dass sich die Bewegung des Aethers in eine Bewegung der wägbaren Materie verwandelt: diese Materie aber versetzt ihrerseits selbst wieder, indem sie in Schwingung geräth, den Aether in Oscillationen. Da nun die Temperatur des Körpers, welcher erwärmt wird, in der Regel niedriger ist, als die des Wärme ausstrahlenden Körpers, so ergiebt sich, dass sich die kurzen Wellen der Sonne in lange verwandeln. Letztere werden nun, wie Melloni gezeigt hat, durch die durchsichtigen Körper und durch sehr dicke Luftschichten nicht hindurch gelassen, und so überträgt sich ein

[1]) Als der Verfasser dieses Buch zum zweiten Male im Jahre 1874 herausgab, hat er noch nicht die schönen Versuche von Crookes gekannt, welche zur Erfindung des Apparates führten, der jetzt unter dem Namen der Lichtmühle oder des Radiometers allgemein bekannt ist. Schon im August des genannten Jahres stellte Crookes im Phil. Mag. die Hypothese auf, dass die beobachteten Bewegungen durch den Stoss der Wellen gegen die Oberflächen der Körper hervorgerufen würden. Zwar hat Crookes selbst auf Grund neuerer Versuche und infolge von Einwürfen, die ihm von mehreren Physikern gemacht wurden, seine Ansicht modificirt, indem er auch der Thätigkeit der Luft, von welcher doch immer noch ein kleines Residuum im leeren Raume verblieben ist, eine Mitwirkung zuschreibt: Zöllner dagegen nimmt an, dass auch die Wärmestrahlung mit einer Emission materieller Theilchen verbunden sei und dass die Bewegungen auf einer Reaction dieser Emission gegen die ausstrahlende Fläche beruhen. Für die ursprüngliche Hypothese von Crookes ist später Rossetti wieder eingetreten, sodass man wohl sagen darf, dass wir es hier mit einer Gruppe von Erscheinungen zu thun haben, deren Erklärung noch keineswegs zum Abschlusse gelangt ist. Wohl möglich, dass die über diese Vorgänge angestellten Beobachtungen im Vereine mit den Untersuchungen über die strahlende Materie, die wir S. 121 Anm. erwähnten, später zur genaueren Kenntniss von der Bewegung der Molecüle oder auch des Aethers führen können. Sch.

grosser Theil dieser Bewegung auf die wägbare Materie und auf den ihr beigemischten Aether. Man hat berechnet, dass von den directen Wärmestrahlen der Sonne nur der vierte Theil durch die Atmosphäre bis zur Oberfläche der Erde gelangt, und auch dieser wird so zu sagen fast vollständig von den festen Körpern und den unteren Luftschichten absorbirt, so dass die letzteren gleichsam um den Erdball einen Mantel bilden, welcher dessen Abkühlung verhindert.

Ferner, so oft die Thätigkeit der Sonnenstrahlen den Aggregatzustand der Körper verändert, wird die lebendige Kraft von der Arbeit absorbirt, welche bei der Aenderung in der Anordnung der Molecüle geleistet wird. Es wird nicht ohne Interesse sein, wenn wir mittheilen, wie sich Fresnel über diesen Gegenstand ausspricht, lange Zeit, bevor die neuere mechanische Theorie der Wärme verbreitet war: denn dabei wird sich bestätigen, was wir bereits erwähnten, dass die Thermodynamik ihren Ursprung im Studium der Strahlungen gefunden hat. „Es ist wahrscheinlich, sagt Fresnel[1]), dass in allen diesen verschiedenen Fällen (der Absorption) ein Theil des Lichts seine Natur ändert und sich in Wärmeschwingungen verwandelt, für welche unser Auge keine Empfindung besitzt, entweder weil sie die Bestandtheile desselben nicht durchdringen können, oder weil der Sehnerv wegen der Modificationen, die sie erlitten haben, nicht mehr mit ihnen im Einklang schwingen kann[2]). Allein die Gesammtmenge der lebendigen Kraft muss dabei immer dieselbe bleiben, es müsste denn die Thätigkeit des Lichtes eine chemische oder calorische Wirkung hervorbringen, die kräftig genug ist um den Zustand des Gleichgewichts, in dem sich die Theilchen der Körper befinden, und damit die Intensität der Kräfte, denen sie unterworfen sind, zu ändern. Denn wollte man annehmen, dass die Intensität dieser Kräfte sich plötzlich verringerte, so begreift man, dass dann auch in der Energie der Oscillationen der Körpertheilchen eine plötzliche Abnahme stattfinden müsste, und dass folglich auch Wärme absorbirt würde, um den gewöhnlichen Ausdruck zu gebrauchen. Solcher Art sind vielleicht die Vorgänge, welche er-

[1]) Fresnel, Suppl. à la chim. de Thomson p. 136. S.

[2]) Dass die erstere Annahme richtig ist, wurde seitdem durch den Versuch bestätigt, indem Janssen nachwies, dass die durchsichtigen Theile des Auges die Wärmestrahlen mindestens ebenso wenig hindurchlassen, als das Wasser. S.

folgen, wenn ein fester Körper schmilzt oder wenn eine Flüssigkeit verdampft."

In der mitgetheilten Stelle ist nicht allein klar ausgesprochen, dass sich das Licht in Wärme verwandelt, sondern man findet auch den Gedanken, etwas dunkel zwar, aber doch deutlich genug angedeutet, dass die Arbeit, die beim Uebergang aus einem Aggregatzustande in den andern geleistet wird, den Vibrationen des Lichtes selbst eine gewisse Menge von lebendiger Kraft entziehen muss. Noch besser zu verstehen ist dieser Gedanke, wenn man die zweite Art von Arbeiten, nämlich die chemischen Wirkungen, ins Auge fasst. Wie wir schon oben ausgeführt haben, bestehen dieselben darin, dass die engeren und beständigeren Verbindungen der Atome, wie die Kohlensäure, das Wasser und viele Salze, die zur Ernährung in den Pflanzen Aufnahme finden, zersetzt werden und sich dafür weniger enge und beständige Verbindungen bilden, wie die Bestandtheile der Holzfaser, die Harze und andere organische Substanzen, welche ihrerseits wieder einer Verbrennung unterworfen werden können, sei es im Feuer unserer Oefen, sei es in den Verdauungswerkzeugen der Thiere. Bei dieser wunderbaren Thätigkeit der Pflanzen, die der Verbrennung entgegengesetzt ist, bleibt die lebendige Kraft selbst in der wägbaren Materie aufgespeichert, nicht wie ein Stoff, der in den Poren eingeschlossen ist, sondern in dem Sinne, wie wir schon im ersten Buche ausführten, dass sie eine mechanische Potenz darstellt, welche immer disponibel ist und mit der der Wärme verglichen werden kann und welche auch jederzeit sich nach Bedürfniss in Wärme verwandeln lässt.

Auf welche Weise soll man sich nun diese Thätigkeit und den wunderbaren Mechanismus vorstellen, durch welche diese Operationen in den Pflanzen vor sich gehen? Nehmen wir an, das Licht sei nicht ein Stoff, der sich mit den Elementen der Körper verbindet, wie man ehemals glaubte, sondern eine Bewegungserscheinung, so ist die einzig vernünftige Erklärungsweise jener Erscheinungen die, dass man sagt, dass die Theilchen des Sauerstoffs und Kohlenstoffs oder anderer Körper, so eng sie auch mit einander verbunden sind, doch von einander durch die Vibrationen getrennt werden, die das Licht in ihnen hervorruft. Indem die Excursionen, welche die Theilchen beim Schwingen ausführen, durch den Einfluss des Lichtes bis zu einem gewissen Punkte vergrössert werden und indem zugleich auch ihre Geschwindigkeit wächst, werden die Theilchen gezwungen,

aus den Attractionssphären, in denen sie sich befanden, herauszutreten, und es wird ihnen die Freiheit wiedergegeben, entweder vollständig, wie dies beim Sauerstoff geschieht, der von der Pflanze in Gasform ausgeschieden wird, oder nur theilweise so, dass die Elemente mit anderen weniger beständige und deshalb auch leichter zersetzbare Verbindungen eingehen. Auf diese Weise lassen sich die Zersetzungen erklären: und auch über die Vereinigung der Elemente Rechenschaft zu geben bietet keine grösseren Schwierigkeiten. Denn wenn die Schwingungen der Molecüle durch die Einwirkung des Lichtes immer erweitert werden, so kann leicht der Fall eintreten, dass ein Molecül in die Wirkungssphäre des andern eindringt, und auf diese Weise können sie sich zu einer gemeinsamen Sphäre vereinigen, in der sie dauernd eingeschlossen bleiben: sobald dies geschieht, muss nach dem früher entwickelten allgemeinen Gesetze Wärme frei werden, und es können sogar augenblickliche Explosionen erfolgen, wie dies bei der Mischung von Chlor und Wasserstoff stattfindet.

Wir haben uns des Ausdrucks Wirkungssphären bedient, den uns der gewöhnliche, herkömmliche Sprachgebrauch darbot, müssen aber gestehen, dass durch denselben die Sache nicht an Deutlichkeit gewinnt: wir weisen immer wieder gern darauf hin, wie nichtssagend diese Ausdrücke sind, und in Kurzem werden wir auseinandersetzen, wie es möglich ist, sich von diesen Kräften eine Vorstellung zu machen, ohne dass man abstracte Agentien zu Hilfe nimmt. Vor der Hand empfiehlt es sich bei der Behandlung dieser Fragen die üblichen Ausdrücke beizubehalten, um über die Thatsachen einen Ueberblick zu gewinnen. Auf alle Fälle ist es klar, dass die chemische Thätigkeit des Lichtes auf eine rein mechanische Thätigkeit zurückgeführt werden kann, und schon Fresnel schreibt in der oben angeführten Stelle: „Wenn das Licht nur in einer besondern Art von Schwingungsbewegungen eines allgemein verbreiteten Fluidum besteht, wie aus den Erscheinungen der Diffraction hervorgeht, so darf man nicht mehr annehmen, dass seine chemische Thätigkeit dadurch erfolge, dass sich seine Molecüle mit denen der Körper verbinden, sondern dadurch, dass die Schwingungen dieses Fluidum eine mechanische Wirkung auf die wägbaren Theilchen ausüben, durch welche dieselben in neue Gleichgewichtssysteme gebracht werden, welche für die Art und Energie der Schwingungen, denen sie ausgesetzt werden, festeren Bestand besitzen.“ Was können wohl

die neueren Physiker diesem wunderbaren Ausspruche des grossen Optikers noch hinzufügen?

Angesichts der ungeheuern lebendigen Kraft, welche die Sonne in Form von calorischen und chemischen Strahlen unserm Planeten und dem Aether, der ihn durchdringt, mittheilt, kann die Frage entstehen, ob die Strahlung, die von der Erde nach dem Himmelsraume hin stattfindet, alle die Kraft jenem Raume wieder ersetzt, die sie von ihm empfangen hat. Trotz der entgegengesetzten Ansicht der Physiker dürfte dies doch sehr zweifelhaft sein und man wird schwerlich genügende Stützen für jene Meinung auffinden. Zieht man die bisher erwähnten Thatsachen in Rechnung, so wird es wahrscheinlich, dass nur derjenige Theil aller Strahlungen dem Weltenraume wieder zurückerstattet wird, der nicht bis zu uns gelangt; denn die Strahlen, welche bis zu dem Boden hindurchdringen, bleiben dem Erdballe erhalten in Form von lebendigen Kräften, die in den verschiedenen chemischen Verbindungen aufgespeichert sind. Auf unserer Erde ist also die hauptsächlichste Quelle der mechanischen und weiter auch der physiologischen Kraft in den Strahlungen der Sonne zu suchen; denn durch deren Thätigkeit wachsen die Pflanzen, welche wieder den Thieren zur Nahrung dienen, und, während diese Nährstoffe im Innern des Thierkörpers, wie an einer Feuerstätte, verbrennen, erzeugen sie in der entwickelten Wärme die mechanische Potenz, aus welcher die Körperkraft erwächst [1]). Und so ist auch der Sänger der Göttlichen Comödie im Recht, wenn er sagt:

> Blick' auf die Sonnenwärme, die zu Wein wird,
> Dem Saft vereint, der aus der Rebe quillet [2]).

Jene Producte, die sich unter dem Einflusse des Sonnenlichtes bilden, sind durchaus nicht etwa als Mischungen von Licht mit anderen Stoffen anzusehen, sondern die mechanische Kraft der Sonnenstrahlen wird nur in den Producten der Pflanzen in einer

[1]) Der ungeheure Vorrath an Kraft, sagt Bunsen a. a. O., den die Natur im Körper der Sonne vereinigt hat, durchdringt im unerschöpflichen Strome der Sonnenstrahlen den ganzen Weltenraum; und die Arbeit', die aufgewendet wurde, um auf der Erde die Thier- und Pflanzenwelt zu erhalten, hat bis auf einige geologische Thätigkeiten fast ausschliesslich ihren Ursprung in jener Quelle. Dieser Ausspruch ist gewissermassen nur eine Wiederholung von Meyer's erhabenen Ideen. S.

[2]) Dante, Fegefeuer. XXV, 78. 79, nach der Uebersetzung von Philalethes (König Johann von Sachsen). Sch.

Weise disponibel gemacht, von der wir noch keine recht klare Vorstellung besitzen. Die Thatsache selbst aber steht unzweifelhaft fest, und in ihr offenbart sich von Neuem wieder die unendliche Weisheit des Schöpfers, welcher dadurch, dass er in den Mittelpunkt unseres Systems eine gewaltige leuchtende, glühende Masse versetzte, nicht allein dafür sorgte, dass die Bewegung der umgebenden Planeten durch die Schwerkraft erhalten bleibt, sondern dass auch das Leben auf denselben durch die Sonnenstrahlen beständig erneuert wird.

Zwar ist es uns noch nicht vergönnt den Schleier zu lüften, der die Vorgänge verhüllt, durch welche die Stoffe unter dem Einflusse der Thätigkeit der Sonne unter immer neuer Form erscheinen, und ebenso wenig kennen wir die innere Structur der Körper: die Existenz jenes Mittels dagegen, durch das sich die Strahlungen ausbreiten, können wir als bewiesen ansehen, und so müssen wir jetzt untersuchen, welchen Antheil dasselbe an der Constitution der Körper nimmt.

KAPITEL VI.

Einfluss des Aethers auf die Constitution der Körper.

Wollen wir uns eine Vorstellung machen von der Art, wie der Aether bei der Constitution der Körper mitwirkt, so bleibt uns nichts Anderes übrig, als dass wir mancherlei Conjecturen aufstellen und die Analogie ähnlicher Erscheinungen heranziehen. Zuerst werden wir voraussetzen müssen, dass die Molecüle durch Zwischenräume von einander getrennt sind, die im Vergleiche zu ihrem Volumen ziemlich bedeutend sind: doch ist es, wie wir früher erwähnt haben, nicht gerade nothwendig, diese Zwischenräume verhältnissmässig so gross anzunehmen, wie die Zwischenräume zwischen den Planeten im Vergleiche mit der Grösse der letzteren, wie Laplace voraussetzte. Wenn nun ein jedes dieser wägbaren Molecüle mit einer Rotationsbewegung begabt ist, und wenn wir seine Gestalt durchaus nicht als vollkommen kugelförmig annehmen, so wird sich um jedes ein Raum bilden, in welchem der umgebende Aether geringere Dichtigkeit besitzt, weil seine Atome durch die Centrifugalkraft des rotirenden Molecüles weit fortgeschleudert werden; daher

wird auch an der Grenze dieses Raumes ein Druck entstehen, welcher dem Drucke des umgebenden Mittels entgegengesetzt wirkt. Wenn der Aether wirklich in die drehende Bewegung des Molecüles mit hineingerissen wird, in der Weise, wie es bei Rotationsbewegungen fester Körper, die in Flüssigkeiten tauchen, der Fall ist, so haben wir nunmehr wirklich einen Aetherwirbel um jedes Molecül.

Es ist sogar von Manchen die Ansicht ausgesprochen worden, dass das Wesen eines wägbaren Molecüles in nichts weiter bestehe, als in einem solchen Wirbel; allein eine solche Annahme für das Wesen der Dinge zu machen, ist nicht nöthig, ebenso wenig, wie man eine selbständige Rotation des Aethers vorauszusetzen braucht, da eine Ausdehnung irgend welcher Art schon die unausbleibliche Folge der Drehungen der Molecüle ist, und da zur Erzeugung eines leeren Raumes um das Molecül herum schon genügt, dass dasselbe mit grösserer Geschwindigkeit rotire, als die beträgt, die der Elasticität des Mittels entspricht, d. h. als die, mit welcher sich das Licht ausbreitet. Ein vollständig leerer Raum ist aber nicht einmal erforderlich: es genügt schon eine einfache Verminderung des Druckes. Der Kürze wegen wollen wir die Kugel von geringerer Dichtigkeit welche das Molecül umgiebt, mit dem Namen eines W i r b e l s bezeichnen: die Axe jener Wirbel wird ihrer Richtung nach während der Rotation entweder fest oder veränderlich sein, je nachdem das centrale Molecül sich um eine beständige oder veränderliche Axe dreht. Die natürliche Folge hiervon ist, dass sich in einem so gebildeten Mittel die kleinen Wirbel vermöge der Centrifugalkraft von einander zu entfernen streben: stossen sie aber jenseits einer gewissen Grenze der Entfernung der Mittelpunkte aufeinander, so wird die Verminderung des Druckes in ihrem Inneren nicht mehr durch die Centrifugalkräfte ausgeglichen, sodass sie sich nun vereinigen und einen einzigen Wirbel bilden können, wie wir es täglich bei den Wirbeln wahrnehmen, die im Wasser erregt werden. Es ist klar, dass nach dieser Theorie auch viele kleinere Wirbel in einem grösseren eingeschlossen sein können und dann gemeinsam ihren Weg fortsetzen, als bildeten sie nur einen einzigen. In dieser Weise begreift man, dass die isolirten Wirbel den Molecülen der einfachen Körper, die vielfachen dagegen denen der zusammengesetzten Körper angehören.

Nähern sich zwei Molecüle, die von ihren Wirbeln umschlossen sind, vermöge der Geschwindigkeit, welche sie belebt, so kann der

Fall eintreten, dass sie nicht zum Zusammenstoss kommen, weil sie noch vor dem Aufeinandertreffen durch die Thätigkeit der Centrifugalkräfte des umgebenden Aethers sich von einander entfernen; in den meisten Fällen wird dagegen jene Kraft nicht genügen, um den Zustammenstoss zu hindern; die beiden Wirbel werden sich dann gegenseitig durchdringen, und wenn die Wurfkraft, welche den centralen Molecülen innewohnt, nicht genügend gross ist, um sie wieder von einander fortzutreiben, so müssen sie nach dem Stosse gleichsam in einem einzigen Wirbel vereinigt bleiben; ist sie dagegen gross genug, so werden die Molecüle, nachdem sie bis zur Berührung gelangt sind, in Folge ihrer Rotation wieder von einander abprallen und getrennt ihre Wege fortsetzen, indem jedes wieder aus der Sphäre oder dem Wirbel des andern austritt. Wie wir bereits im vorigen Buche erwähnt haben, besitzen die gasförmigen Körper eine ungeheuere Wurfgeschwindigkeit, infolge deren ihre Molecüle sich schon vor dem eigentlichen Zusammenstosse, oder wenigstens nachdem sich die Wirbel für einen Augenblick gegenseitig durchdrungen haben, von einander entfernen und selbständig ihre Bahn fortsetzen. Wenn dagegen bei den festen Körpern die Molecüle im Augenblicke des Stosses mit einander in Berührung kommen, so ist ihre Kraft nachher nicht mehr gross genug, dass sie gegenseitig ihre Wirbel wieder verlassen könnten: sie bleiben daher in einem gemeinsamen Wirbel vereinigt, in welchem sich die Axen in eine bestimmte gemeinsame Richtung einstellen. Hierbei ist es durchaus nicht erforderlich, dass die centralen Molecüle in unmittelbarer Berührung mit einander verbleiben: es kann jedes derselben vom andern durch einen kleinen Zwischenraum getrennt sein und noch von einem kleinern Wirbel innerhalb des grössern umflossen werden. Bei den flüssigen Körpern ist die Orientirung der Axen gestört und die Molecüle befinden sich in einem solchen Abstande von einander, dass der Druck der Centrifugalkräfte und die Wurfkraft, welche durch die Wärme erzeugt wird, in den Wirkungen der Schwerkraft ihren Ausgleich finden. Bis zu dieser Grenze hin bleibt als hauptsächlich wirkende Kraft die Schwerkraft übrig, welcher sie Folge leisten, indem sie sich in das Niveau einstellen, ohne dass dabei die Cohäsion irgendwie vernichtet wird.

Wir müssen hier wiederholen, was wir bereits im I. Buche besprochen haben, dass in dem Augenblicke, wo ein fester Körper in den flüssigen Zustand übergeht, eine doppelte Arbeit geleistet werden

muss: es müssen nämlich erstens die Axen der Atome aus ihrer festen Stellung gebracht werden und zweitens müssen die Atome selbst von einander entfernt werden. Wie wir uns diese doppelte Arbeit vorzustellen haben, wird jetzt zu einem bessern Verständniss gelangen können, da es nun klar ist, dass der Aether einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Orientirung der Drehungsaxen ausüben muss. Die Arbeit der Ausdehnung scheint bei denjenigen Stoffen zu fehlen, die sich, wie das Eis beim Schmelzen, zusammenziehen: allein dies ist nur scheinbar der Fall; denn wenn sich auch in den grossen Massen keine Ausdehnung zeigt, so findet dieselbe doch in den kleinsten Theilchen statt; denn wenn die integrirenden Molecüle der Krystalle bei ihrer Auflösung die Richtung ihrer Axen verändern, so müssen sie sich wenigstens nach gewissen Richtungen hin von einander entfernen, weil bei den festen Körpern die Molecüle nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, wie dies in den Flüssigkeiten der Fall ist. Es bleibt daher zu untersuchen, ob das Volumen, das ein Körper einnimmt, sich vergrössert oder verkleinert, wenn die Molecüle nach allen Seiten hin in gleichen Abstand von einander gebracht werden: im ersteren Falle wird sich der feste Körper beim Schmelzen ausdehnen, im andern dagegen zusammenziehen. In dieser Weise wird die Schwierigkeit gehoben, welche aus dem Widerspruche zwischen diesen Erscheinungen und dem Satze erwächst, dass mit Rücksicht auf die bei jeder Schmelzung eintretende Absorption von Wärme zugleich immer eine Ausdehnung erfolgen müsse. Aber auch ohne Ausdehnung bleiben noch zwei Arbeiten übrig, welche Kraft absorbiren: es müssen nämlich die Axen der Molecüle aus ihrer festen Stellung gebracht werden, und weiter muss der Aether gleichmässig auf allen Seiten um jedes Molecül vertheilt werden, was für den flüssigen Zustand unbedingt erforderlich ist.

Nach dieser Theorie würde die Kraft, welche die Molecüle der festen Körper zusammenhält, einzig in dem äussern Druck des umgebenden Aethers ihren Ursprung haben, indem derselbe beständig das Gleichgewicht wieder herzustellen sucht, das in ihrem Innern durch die Wirkung der Drehung der wägbaren Molecüle gestört ist; auf diese Weise würde sich das bestätigen, was schon Galilei aussprach, dass nämlich die Festigkeit der Körper ein Mass sei für den Widerstand, den ihre Theile der Bildung eines leeren Raumes entgegensetzen, vorausgesetzt, dass man hierbei nicht an einen luft-

leeren Raum denke, sondern an einen Raum, der auch von Aether frei ist. Was man gewöhnlich Attractionssphären oder Sphären der Wirksamkeit nennt, würde danach nichts Anderes sein, als die Sphären oder besser die Intervalle, in denen der Aether in solcher Weise ausgedehnt ist, und da sich diese Ausdehnung nicht sehr weit um jedes Molecül ausbreiten kann, da sie also nur eine sehr dünne Schicht bildet im Verhältniss zu unseren gewöhnlichen Massen, so müssen die Radien jener Wirkungssphären auch ausserordentlich klein angenommen werden.

Nicht alle Molecüle der wägbaren Körper müssen gleiche Form und Ausdehnung haben und es werden hierdurch mancherlei Verschiedenheiten in den Wirbeln entstehen, die sie umgeben: in gleicher Weise werden nicht alle gleiche Rotationsgeschwindigkeit oder gleiche Masse besitzen, und hiervon hängt vielleicht die Verschiedenheit ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften ab. Auch die Atome des Aethers müssen wir uns nothwendig in einer Rotationsbewegung denken, aus welcher sich ihre Elasticität erklärt; allein, da wir wohl allen gleiches Volumen und gleiche Masse beilegen müssen, und da ihre Form wahrscheinlich die der Kugel ist, so ist kein Grund vorhanden, dass sich ein Wirbel eher um das eine als um das andere Aetheratom bilden sollte, und deshalb muss das Mittel, das nur aus einfachen Aetheratomen besteht, stets homogen bleiben. Aus dieser Hypothese folgt weiter, dass im Innern der Körper, wo wägbare Masse vereinigt ist, der Aether im verdünnten Zustande sein muss, an der Oberfläche der Körper aber wird diese Verdünnung sehr schnell abnehmen: doch auch in grösserer Entfernung bewirkt die Thätigkeit des Aethers selbst eine Verminderung des Druckes, worauf wir später zu sprechen kommen. Durch Regnault's neueste Untersuchungen über den Schall ist der Beweis geführt worden, dass sich die Luft in der Nachbarschaft der tönenden Körper verdünnt; es ist dies eine Folge des bereits oben besprochenen Princips, nach welchem jede heftige Bewegung in einer Flüssigkeit einen leeren Raum erzeugt, der in eine absolute Leere übergehen würde, wenn die Geschwindigkeit des bewegten Punktes grösser wäre als der Grenzwerth der Elasticität des Mittels. Auf diese Weise ist gezeigt worden, dass eine einfache Vibration, abgesehen von aller Rotationsbewegung, eine Verminderung des Druckes hervorbringen kann, wie wir in unserer Theorie vorausgesetzt haben.

Durch unsere Hypothese ist es weiter auch nicht schwierig die

chemischen Thätigkeiten zu erklären: denn man kann sich eine chemische Verbindung dadurch vorstellen, dass sich zwei Wirbel, deren Ausdehnung und Geschwindigkeit ursprünglich verschieden war, zu einem einzigen vereinigen; die chemische Anziehung ist daher eine Kraft, welche sich ihrem Ursprunge nach von der Anziehung homogener Massen nicht unterscheidet. Zu dieser Schlussfolgerung führt uns die Wissenschaft täglich immer mehr, und wir haben bereits erwähnt, dass H. Sainte-Claire Deville zwischen den chemischen Actionen und der Aenderung des Aggregatzustandes der Körper mehrere auffällige Analogien in den Vorgängen aufgefunden hat. Die Vereinigung der Molecüle kann um so leichter erfolgen, je bedeutender die Verschiedenheit der Wirbel in Bezug auf Grösse und Potenz ist: denn ein grösserer Wirbel wird viel eher einen kleinen absorbiren, als dass sich zwei gleiche Wirbel mit einander vereinigen, da in diesem Falle kein rechter Grund vorhanden ist, dass der eine über den andern das Uebergewicht erlange. Daher wird die Geschwindigkeit und Energie, mit der die chemische Verbindung erfolgt, von jenem Verhältnisse der Grössen abhängen, und hiermit könnte man auf leichte Weise die Verschiedenheit der chemischen Verwandtschaft, wie sie die Erfahrung gelehrt hat, begründen. Wenn nun zwei Wirbel von verschiedenen Dimensionen einander durchdringen, so müssen die Mengen von Aether, aus denen die Atmosphären beider Molecüle bestehen, nothwendig einen neuen Gleichgewichtszustand eingehen, und es kann dabei leicht der Fall eintreten, dass die Summe der Aethermengen, welche die beiden Atmosphären oder Wirbel der einzelnen Molecüle bilden, verschieden ist von der Menge, welche zur Bildung der Atmosphäre oder des Wirbels des zusammengesetzten Molecüles erforderlich ist. Dadurch können im Aether Strömungen entstehen, und dieser Fall wird immer eintreten, so oft die oscillirenden oder rotirenden Bewegungen von solcher Heftigkeit sind, dass die Elasticitätsgrenzen des Mittels durch sie überschritten werden; auf die Erscheinungen, bei denen dieser Fall eintritt, kommen wir später zu sprechen.

Wenden wir diese Theorie auf die chemische Thätigkeit des Lichtes an, so können wir uns leicht überzeugen, dass die Lichtschwingungen in einem so gebildeten Mittel eine doppelte Wirkung hervorrufen müssen: einmal müssen sie gewisse Gruppen zersetzen, das andere Mal aber müssen sie aus den Bestandtheilen derselben neue bilden. Die hauptsächlichste und directeste Wirkung wird

zunächst darin bestehen müssen, dass sich die lebendige Kraft der wägbaren Molecüle durch den Einfluss der Oscillationen des Aethers vergrössert: ist dieselbe nun bis zu einem gewissen Punkte herangewachsen, so kann es nicht ausbleiben, dass schliesslich die Molecüle aus dem gemeinsamen Wirbel, in dem sie eingeschlossen waren, herausgeschleudert werden, und dass sich dadurch wieder freie einzelne Wirbel bilden. Diese Wirkung wird dadurch herbeigeführt, dass die Wellen den Molecülen regelmässig auf einander folgende Stösse ertheilen, die, so gering sie auch sind, dadurch dass sie sich Billionen Male in der Secunde im rhythmischen Gange wiederholen, grosse Massen in heftige Oscillationen versetzen können, wie wir es in anderen Fällen bei ganz gewöhnlichen Ereignissen täglich beobachten. Das Licht besitzt daher eine eminente zersetzende Kraft und vermag in hohem Grade die chemische Analysis zu bewirken, und indem es diese Arbeit ausführt, erlischt die lebendige Kraft des Aethers, oder besser gesagt, sie geht auf die wägbare Materie über; die Bewegung des Aethers wird also der Materie mitgetheilt, da jede Arbeit schliesslich nichts weiter ist als eine Uebertragung der Bewegung, wobei die Widerstände überwunden werden.

Auf indirectem Wege kann aber das Licht auch Synthesen bewirken: zunächst dadurch, dass es den einen der Bestandtheile, der mit einem andern verbunden war, ausscheidet und damit den Elementen des ersteren die Freiheit giebt sich mit einem dritten Körper, der etwa anwesend ist, zu verbinden; diese Erscheinung kann sogar bei denjenigen Körpern eintreten, die man auf andere Weise bisher noch nicht hat zersetzen können, wenn dieselben in Wirklichkeit nicht einfache Körper sind. Vielleicht liegt hierin der Grund für die Vereinigung des Wasserstoffes mit dem Chlor unter der Einwirkung des Lichtes, da der letztere dieser beiden Körper möglicher Weise ein zusammengesetzter ist. Findet man jedoch diese Annahme nicht statthaft, so kann man die Erscheinung dadurch erklären, dass durch das Licht an zweiter Stelle die Verbindung der Stoffe dadurch bewirkt wird, dass es die lebendige Kraft des einen Bestandtheiles oder auch beider vergrössert, so dass dieselben nun mit grösserer Gewalt auf einander stossen und so tief gegenseitig in ihre Sphären oder Wirbel eindringen, dass sie nicht mehr frei aus ihnen hervorgehen können. Diese Vereinigung kann auch noch dadurch bedeutend erleichtert werden, dass dem ganzen Mittel eine vibrirende Bewegung ertheilt wird: denn schon in der

gewöhnlicchen Mechanik kann man sehr häufig beobachten, dass eine Bewegungsgrösse, die nicht genügt in einer ruhenden Masse einen gewissen Effect hervorzubringen, denselben hervorruft, wenn die Masse schon in Erregung war, indem sich dann die beiden Bewegungsgrössen mit einander vereinigen; so ist im unruhigen Meer der Zusammenstoss zweier Schiffe immer viel heftiger als bei ruhender See.

Wenn man zwar auch nicht angeben kann, wie die Ereignisse in den speciellen Fällen vor sich gehen, da sich die Atome und ihre Bewegungen der Wahrnehmung durch unsere Sinne entziehen, so muss man doch eingestehen, dass jene Annahmen durchaus nicht widersinnig sind, zumal da wir sehen, dass auch bei den Schwingungsbewegungen der wägbaren Stoffe Erscheinungen eintreten, welche mit jenen Anziehungen und Abstossungen eine gewisse Aehnlichkeit besitzen: warum sollten also im Aether nicht auch ähnliche Vorgänge stattfinden? So häuft sich z. B. der feine Sand in den Knotenlinien schwingender Platten an und bleibt daselbst trotz der Stösse, die er empfängt, ruhig liegen, nur gehalten durch die wirbelnde Bewegung der Luft; so wird ein leichter Körper, ein Stück von einem Kartenblatt, das an einem Faden hängt, von einer tönenden Glocke angezogen und bleibt an ihr hängen. Für die Trennungen, die durch die Schallschwingungen bewirkt werden, ist ein sehr bekanntes Beispiel, dass eine Glasglocke zerbricht, wenn man den Ton, auf welchen sie gestimmt ist, stark in sie hinein singt, indem dadurch ihre Schwingungen die Grenze der Festigkeit überschreiten (Melloni).

Die ausführlichere Besprechung dieser Hypothese müssen wir für einen andern Theil aufsparen: für jetzt aber ist es nothwendig zwei Einwürfe ins Auge zu fassen, welche gegen dieselbe erhoben werden können. Zuerst könnten wir fragen, wie diese rotirenden Bewegungen, diese Wirbel auf die Dauer im Aether fortbestehen können, ohne dass sie doch schliesslich erlöschen. Und in der That, wenn ein Aethermolecül bei seiner Wanderung beständig seine Wurfkraft an andern Aether abgeben muss, so wird dieselbe in ihm in Folge seiner Thätigkeit sehr bald erlöschen: wenn wir also auch annehmen dürfen, dass jene Bewegungen in vollständig leerem Raume andauern, so scheint diese Annahme doch ihre Geltung zu verlieren, wenn sie in einem trägen und widerstehenden Mittel erfolgen.

Dieser Einwand scheint sehr plausibel: im Grunde aber ist es derselbe, den Newton bei den Planetenbewegungen erhob, da für die Molecüle keine anderen Gesetze gelten können, als für grosse Körper. Indem wir dasjenige, was die Bewegung der Sterne betrifft, für später zurückstellen und uns jetzt auf die molecularen Vorgänge beschränken, müssen wir doch sagen, dass die Schwierigkeit zum Theil auf der falschen Voraussetzung beruht, dass derartige Bewegungen ohne Ende erhalten bleiben müssten, wenn sie in einer isolirten Masse vor sich gehen: denn müsste eine in sich abgeschlossene Masse für sich allein ihre lebendige Kraft der ganzen Masse des Aethers mittheilen, so würde ihre Bewegung sehr bald unmerklich werden. In der Wirklichkeit dagegen erhalten die Atome und ihre einzelnen Gruppen beständig von allen anderen eine Verstärkung, durch welche die Verluste ausgeglichen werden, und wir haben erst vor Kurzem besprochen, dass die Sonne, trotzdem dass sie sich in einem Abstande von 20 Millionen Meilen befindet, doch von der Vorsehung die Aufgabe erhalten hat durch Zerlegung der Kohlensäure die Menge an lebendiger Kraft wieder zu ersetzen, die während der Verbrennung der Kohle frei und zu anderen Arbeiten verbraucht wird. Die Erhaltung der Bewegung oder der Energie ist ein Princip, zu dem wir auf rein empirischem Wege gelangt sind: es würde aber, wie wir schon wiederholt bemerkt haben, ein Fehler sein, wenn wir dieses Princip in den begrenzten Massen nachweisen wollten, während wir zu diesem Zwecke immer die ganze Schöpfung im Auge behalten müssen.

Auf welche Weise die drehende Bewegung in den Wirbeln erhalten bleibt, welche die einzelnen Molecüle umgeben, verdient eine eingehendere Untersuchung: denn wir müssen gestehen, dass das Verständniss derartiger Erscheinungen, welche wir in der Natur gar nicht selten beobachten können, auch schon in der gewöhnlichen Mechanik einige Schwierigkeiten darbietet. Wir sehen, wie derartige Wirbel nicht allein im Laufe des Wassers bis auf sehr grosse Entfernungen hin weiter wandern, sondern wie auch in der Luft die schnelldrehenden Windhosen Meile für Meile weiter rücken, ohne zusammenzubrechen[1]). Wenn eine Trombe in dieser Weise weiter

[1]) Als ich eines Tages mit der Messung der Basis auf der Via Appia beschäftigt war, erschien von der Seite des Meeres her eine sehr dünne senkrechte Säule von etwa 2 Meter Durchmesser, die durch eine aus Staub gebildete Linie in ihrer Mitte sichtbar wurde. Dieselbe kreuzte die Strasse

rückt, so scheint die Annahme nicht richtig, dass es immer ein und dieselbe Luftmasse sei, welche sich um sich selbst dreht und dabei weiter bewegt, sondern es ist zu vermuthen, dass sich die Wirbelbewegung von einer Schicht auf die andere überträgt, wie dies ja auch bei den Wellenbewegungen der Fall ist: und bei dieser Uebertragung werden die Kräfte zur Wirkung gelangen, welchen die Flüssigkeit unterworfen ist, nämlich die Schwerkraft oder auch die Elasticität. Wenn die Vorgänge nicht in dieser Weise erfolgten, so könnte man nicht begreifen, wie eine Wasserhose einen Weg von Hunderten von Meilen zurücklegen und dabei beständig Ströme von Regen aussenden könnte, da die Luftmasse bei der ersten Entladung sehr schnell alles Wasser verlieren würde, welches in ihr in Dampfform enthalten ist. Der Wirbel muss also bei seiner Wanderung beständig seinen Stoff austauschen und kann mithin als eine Welle angesehen werden, die sich weiter verbreitet; jedoch mit dem Unterschiede, dass in der eigentlichen Welle die Excursion der Molecüle nicht mehr als eine halbe Wellenlänge betragen kann, während beim Wirbel noch eine Componente der Fortbewegung hinzukommt, deren Geschwindigkeit viel geringer ist als die Drehungsgeschwindigkeit des Wirbels [1]). Es scheint, als könnte man mit diesem Principe bei vielen mechanischen Erscheinungen von der Ausbreitung der Wirbel in vollständigerer Weise Rechenschaft geben, als dies bisher geschehen ist, indem man annahm, dass der Wirbel nur durch die Strömungen weiter getragen würde, oder auch, dass er sich nur an der Grenze zweier entgegengesetzter Ströme halten könnte.

Hieraus folgt unmittelbar, dass vermöge der Elasticität des Mittels (ganz abgesehen, worin dieselbe ihren Ursprung habe) zur Erhaltung der Drehbewegung ebenso wenig neue Kraft erforderlich ist, wie für die Erhaltung der Wellenbewegung: ist der Wirbel ein-

an der Stelle, wo wir uns befanden, und wanderte von dort weiter, bis sie hinter einem Berge in mindestens 6 Kilometer Entfernung verschwand. Die Luft war vollständig ruhig und es existirten durchaus keine entgegengesetzen Strömungen, welche den Wirbel hätten erzeugen können. S. — Sehr interessant sind auch die Beobachtungen, die Pictet bei Kairo anstellte. Dieser Beobachter konnte durch den Fuss einer Sandhose, deren Höhe er auf 1000 m schätzte, hindurchgehen, ohne dass sich die Bewegung derselben änderte. (Arch. d. sc. phys. et nat. Sér. 3, Tome II. Juli 1879, S. 5.) Sch.

[1]) Bei einer einzelnen Welle besteht die Bewegung der Molecüle in Wirklichkeit in einer drehenden Bewegung um eine horizontale Axe. S.

mal erregt, so bleibt er bestehen, bis er dadurch, dass er sich über eine immer grössere Masse erstreckt, allmählich erlischt, denn man hat stets beobachtet, dass beim Weiterwandern sein Durchmesser beständig wächst, seine Geschwindigkeit dagegen abnimmt [1]).

Uebertragen wir dieses Princip auf den Aether, so ist leicht einzusehen, dass die Elasticität [2]), welche die Wellenbewegung verbreitet, auch die Wirbel derselben weiter ausbreiten kann: sind solche Wirbel einmal durch einen äusseren Impuls gebildet, so ist um dieselben in Circulation zu erhalten nicht nöthig, dass ihnen von den centralen Molecülen neue lebendige Kraft ertheilt werde, sondern die letzteren dienen ihnen nur als Axen, um sie auf der Linie zu erhalten, auf der sie sich weiter bewegen.

Von grösserem Gewicht ist eine zweite Schwierigkeit, die daraus erwächst, dass nach der aufgestellten Hypothese der Aether im Innern der wägbaren Körper dünner sein muss als im luftleeren Raume: denn diese Ansicht widerspricht vollständig der verbreiteten Anschauung, nach welcher derselbe in den Körpern dichter sein müsste. Man könnte hierauf sehr einfach antworten, dass die Ansichten der Theoretiker über diesen Punkt durchaus noch nicht übereinstimmen: so ist Lamé durch analytische Entwickelungen zu derselben Folgerung gelangt, dass der Aether in den Körpern, welche die Strahlen stärker brechen, weniger dicht ist, und dass die Materie auf ihn eine abstossende Wirkung ausübt [3]), welche schliesslich mit der Wurfkraft und der Centrifugalkraft in Folge der Rotation übereinstimmt. Auch Cauchy ist zu denselben Schlussfolgerungen

[1]) Man glaubt gewöhnlich, dass die Wirbel durch die allgemeine Bewegung der Luftströmung weiter getragen würden; allein es ist klar, dass nach demselben Principe, nach dem sich die Wellen ausbreiten, auch die Wirbel ohne jenen Einfluss sich weiter verbreiten können. Die Cyclonen in den südlichen Meeren wandern gewöhnlich gegen den Wind, der in den unteren Luftschichten herrscht. S.

[2]) Das Wort Elasticität wollen wir hier in seiner weitern Bedeutung nehmen; d. h. wir wollen darunter alle diejenigen Kräfte verstehen, die ununterbrochen auf eine Masse wirkend das Gleichgewicht wieder herzustellen suchen, wenn dasselbe für einen Augenblick gestört war. (S. Lamé, Théorie mathématique de l'élasticité. Paris.) S

[3]) Lamé, Journal de l'école polytechnique, t. XIV, c. 23, pag. 269 „Somit ist die mittlere Dichtigkeit des Aethers in den durchsichtigen Körpern geringer, als die desselben Fluidum im luftleeren Raume, und die Wirkung, welche die wägbare Materie auf den Aether ausübt, ist eine abstossende". (Mémoire sur les lois d'équilibre du fluide éthéré, § VI.) S.

betreffs der abstossenden Kraft gelangt und Briot nimmt an, dass der Aether eine abstossende Kraft besitze, die im umgekehrten Verhältnisse mit der sechsten Potenz der Entfernung wirke; weiter glaubt aber derselbe, dass der Aether auf die wägbare Materie eine anziehende Wirkung ausübe, betreffs der Dichtigkeit dagegen spricht er sich nicht aus [1]). Die Schwierigkeit würde demnach nur darin bestehen, dass die Ansicht, welche bisher andere Physiker gehabt haben, zu verbessern sei: um uns aber nicht allein auf Autoritäten zu verlassen, wollen wir jetzt die Thatsachen selbst prüfen.

Zu der Annahme, dass der Aether im Innern der Körper dichter sei, sind die Physiker durch zwei Gründe gebracht worden: zunächst haben sie vorausgesetzt, dass der Aether von den wägbaren Molecülen angezogen werde und sich daher an deren Oberfläche verdichten müsse; allein diese Anziehung und Verdichtung ist bisher durch keinen entscheidenden Versuch nachgewiesen worden, im Gegentheil führen die Arbeiten mehrerer bedeutender Analytiker zu der Ansicht, dass eine abstossende Kraft vorhanden sei. An zweiter Stelle glaubte man aber, dass sich durch die Annahme der Verdichtung des Aethers die Erscheinung leichter erklären lasse, dass die Geschwindigkeit des Lichtes abnimmt, wenn dasselbe in ein stärker brechendes Mittel übergeht, weil diese Geschwindigkeit sich mit der Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der Elasticität zur Dichtigkeit ändert ($V = \sqrt{\frac{e}{d}}$); die Abnahme der Geschwindigkeit würde also darin ihren Grund haben, dass die Dichtigkeit einen grösseren Werth besitzt. Allein dieser Grund ist durchaus nicht genügend, da ja die Geschwindigkeit auch geringer wird, wenn nur die Elasticität e abnimmt, während die Dichtigkeit d constant bleibt, oder auch wenn beide Grössen gleichzeitig abnehmen und die Verminderung von e stärker ist als die von d, d. h. wenn für den Aether im Innern der Körper das Mariotte'sche Gesetz nicht mehr dieselbe Giltigkeit bebesitzt, wie für die Gase. Es darf uns dies nicht Wunder nehmen, da wir ja wissen, dass die oben angeführte Formel auch für den Schall nicht ausreicht, sondern dass auch in diesem Falle die Wärme mit in Rechnung gezogen werden muss, welche in der Luft durch die Schwingungen entwickelt wird. Auch durch die Erscheinungen der doppelten Brechung werden die Physiker zu der Annahme ge-

[1]) Briot, Comptes rendus, t. LVII, p. 868. S.

führt, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit eher von der Elasticität als von der Dichtigkeit abhängig ist und schon Herschel bemerkt sehr richtig, „dass wir für die Elasticität eines Mittels kein anderes Mass haben als die Geschwindigkeit der Strahlen, welche durch dasselbe hindurchgehen“ [1]) Will man sich daher keinen Trugschluss zu Schulden kommen lassen, so muss man Thatsachen anderer Art zu Hilfe nehmen um zu wissen, welche von den drei Auslegungsarten der Formel die richtige sei. In der Theorie der doppelten Brechung wird nun angenommen, dass die Elasticität in der Richtung geringer sei, in welcher die wägbare Materie stärker condensirt ist, d. i. in der Richtung der Hauptaxe der Krystalle oder der, nach welcher eine Zusammendrückung stattgefunden hat. „Die Elasticität des Aethers im zusammengedrückten Glase, sagt Herschel weiter (p. 206), muss man als geringer annehmen in der Richtung in welcher der Druck erfolgt und grösser in der senkrechten Richtung.“ So wie es nun in denjenigen Fällen, in denen man die Wirkung der grösseren Dichtigkeit zuschreiben könnte, sich doch empfiehlt, die geringere Elasticität als Ursache anzunehmen, so muss man auch dasselbe Verfahren anwenden bei den Körpern von gleichmässiger Dichtigkeit, welche das Licht einfach brechen. Daher scheint die Annahme gerechtfertigt, dass im Innern der Körper sowohl die Elasticität als auch die Dichtigkeit des Aethers abnimmt, erstere aber in viel stärkerem Verhältnisse: und wenn wirklich innerhalb der molecularen Sphäre ein theilweise leerer Raum entsteht, so muss auch die Elasticität geringer werden, weil die Rotationskraft des Centrum sich der Wiederherstellung des Druckes widersetzt und gerade in dieser Wiederherstellung besteht, wie Lamé sagt, die Elasticität.

Um dies noch besser zu verstehen, müssen wir das, was wir schon mehrmals flüchtig erwähnt haben, noch etwas ausführlicher entwickeln, dass nämlich die Elasticität ihrem allgemeinen Begriffe nach nicht allein jene Eigenschaft der Aetheratome umfasst, nach welcher sie wieder nach ihrer ursprünglichen Form streben, wie Huyghens diesen Begriff auffasste, sondern dass wir damit ganz allgemein die Gesammtheit aller der Kräfte meinen, welche auf eine flüssige Masse wirken, mögen dieselben nun den Theilchen selbst innewohnen oder mögen sie äusserliche sein. Die ausführlichere

[1]) Tractatus de lumine, V. II, p. 182. S.

Erklärung dieses Begriffes wollen wir mit Lamé's Worten selbst mittheilen [1]):

„Wenn die Molecüle der Materie sich zu einem Körper oder zu einem begrenzten oder unbegrenzten Mittel vereinigen, so dauern die Ursachen, welche jenen Molecülen ihre gegenseitige Lage angewiesen haben, in gewissem Sinne fort und wirken ohne Unterbrechung; wenn daher irgend eine äussere Kraft jene Lagen ein wenig und für sehr kurze Zeit verändert, so suchen dieselben Ursachen die Molecüle in ihre ursprünglichen Stellungen zurückzuführen. Dieses Streben oder diese beständige Wirksamkeit bezeichnet man mit dem Namen der Elasticität.“ Dieselbe hängt also durchaus nicht allein von den Thätigkeiten ab, die man bisher als moleculare Anziehung oder Abstossung bezeichnet hat: jene Definition enthält in keiner Weise ähnliche Voraussetzungen, sondern sie lässt sich ausdehnen auch auf alle Fälle, bei denen die molecularen Thätigkeiten nicht die hauptsächlich wirkenden Ursachen sind, sodass auch die Wellenbewegungen des stillstehenden Wassers unter dem Einfluss der Schwerkraft sich unter diesen allgemeinen Gesichtspunkt einreihen lassen.

Da nun die Kräfte, denen der Aether im Innern der Körper unterworfen ist, sich durchaus von denen unterscheiden, die auf den freien Aether im leeren Raume wirken, so ist es klar, dass der Quotient $\frac{e}{d}$ einen ganz anderen Werth annehmen muss, und es ist daher in keiner Weise gerechtfertigt, wenn man mit Vorliebe der einen der beiden Grössen, aus denen er gebildet ist, einen constanten Werth beilegt.

Zu der Annahme, dass im Innern der brechenden Körper der Aether dichter sei, wurde Fresnel besonders durch die Vergleichung der Intensität des polarisirten Lichtes geführt, welches von durchsichtigen Körpern theils reflectirt, theils gebrochen wird, und in der That stimmten auch die Beobachtungen recht gut mit den Formeln überein, welche aus dieser Hypothese abgeleitet wurden. Mac Cullagh und Neumann dagegen zeigten, dass man zu denselben Formeln gelangt, wenn man annimmt, dass der Aether überall gleich dicht sei, dass sich aber seine Elasticität ändert: nur ist es dann nothwendig vorauszusetzen, dass die Bewegungen der polari-

[1]) Lamé, Théorie mathém., etc., Paris 1852, p. 1.

sirten Strahlen in anderer Weise erfolgen, als sie nach der Fresnel'schen Theorie erfolgen müssen. Endlich hat Cauchy bei seinen Untersuchungen über diesen Punkt jede Hypothese über die relative Dichtigkeit des Mittels bei Seite gesetzt und durch blosse Berücksichtigung der verschiedenen Geschwindigkeit des Lichtes auf analytischem Wege allgemeine und vollständige Formeln abgeleitet, welche die Fresnel'schen Formeln als specielle Fälle in sich schliessen: durch diese Formeln aber ist er zu neuen Erscheinungen geführt worden, welche dem andern grossen Physiker entgangen waren und die jetzt ihre experimentelle Bestätigung gefunden haben [1]. Fresnel's Formeln darf man also nicht mehr als Beweis für irgend eine Theorie über diesen schwierigen Punkt anführen.

Manche Physiker, unter Andern Euler, haben die Meinung ausgesprochen, dass sich das Licht im Innern der Körper durch Vermittelung der wägbaren Materie selbst ausbreiten könne: berücksichtigt man aber die ungeheuere Geschwindigkeit, mit der es sich in ihr fortpflanzt, und welche die des Schalles um das Millionenfache übertrifft, so ist es nicht sehr wahrscheinlich, dass ihre eigene Elasticität dazu ausreicht. Auch Lamé wird durch analytische Untersuchungen [2] darauf geführt, dass jene Annahme unstatthaft sei, und deshalb kommt er zu dem Schlusse, dass es ausser der wägbaren Materie „im Innern der Körper noch einen Stoff anderer Art geben müsse, welcher der eigentliche Träger der Schwingungen ist, die unter dem Einflusse des Lichtes entstehen: die wägbare Materie dagegen nimmt daran einen rein passiven Antheil, indem sie durch ihren Widerstand die Richtungen der Strahlen und die Ausbreitungsgeschwindigkeit in den verschiedenen Richtungen abändert.“ Nach ihm schwimmen die Molecüle der wägbaren Materie gleichsam im Aether und nehmen an den Bewegungen desselben in der Weise Theil, wie eine Reihe kleiner Körper, die auf der Oberfläche des Wassers schwimmen, an den Wellenbewegungen der Masse, in welche sie tauchen, Theil nehmen. Nach Briot ist die Annahme, dass die wägbaren Molecüle beim Durchgang der Welle in Ruhe bleiben, durchaus unstatthaft: auch sie werden mit in jene Bewegung hineingezogen, und durch ihre Anwesenheit wird jene

[1]) Cauchy, Exercises d'analyse et de physique mathém., t. I. — Comptes rendus, t. LXII, p. 868 S.

[2]) Lamé, a. a. O. p. 327, n. 129 und 130. S.

Verzögerung der Welle verursacht, durch welche die Dispersion der Strahlen entsteht.

Dass die Substanz des wägbaren Körpers selbst nicht als der eigentliche Träger des Lichtes anzusehen ist, hat Fizeau durch seine schönen Arbeiten über den Einfluss der Bewegung der Körper auf die Geschwindigkeit des Lichtes bewiesen. Denn in der That, wenn sich das Licht nur durch die wägbare Substanz fortpflanzte, so müsste seine Geschwindigkeit um ebenso viel erhöht oder vermindert werden, als die Geschwindigkeit des wägbaren Mittels selbst, das sich in Bewegung befindet, beträgt: dass dies aber nicht der Fall ist, ersieht man schon daraus, dass die Aberration der Fixsterne ebenso gut bei einem mit Wasser erfüllten Fernrohre zu beobachten ist, wie bei einem mit Luft erfüllten. Sorgfältig angestellte Untersuchungen haben gezeigt, dass nur ein Theil jener Geschwindigkeit auf die Bewegung des Lichtes einwirkt und dass dieser Theil von dem sogenannten Brechungsvermögen des Stoffes, d. h. von dem Unterschiede der Geschwindigkeit des Lichtes im leeren Raume und im brechenden Mittel abhängig ist. Als Fizeau das Licht durch zwei Wassersäulen hindurch gehen liess, die sich mit einer Geschwindigkeit von 7^{m} in der Secunde bewegten, so fand er, dass die Interferenzstreifen um ein Viertheil ihrer Breite verrückt wurden, und diese Verschiebung ist wohl als die Folge der Einwirkung der wägbaren Materie anzusehen. Man hat diesen Versuch als einen Beweis dafür angesehen, dass der Aether in den stärker brechenden Mitteln eine grössere Dichtigkeit besitze, allein es scheint, als dürfe man aus ihm nur den Schluss ziehen, dass man in jener Verzögerung nur den Einfluss des Theiles der wägbaren Materie erkennen dürfe, welche die Stelle des Aethers einnimmt und welche die Bildung der Wirbel oder der Sphären von geringerer Dichtigkeit um die Molecüle bewirkt. Die gewöhnlichen Körper durchschneiden demnach den Aether in gleicher Weise, wie sich ein Netz durch die Luft bewegt, das einen Theil derselben mit in seiner Bewegung fortreisst, während ein anderer Theil frei durch die Maschen hindurch geht.

Dass der Aether im Innern der wägbaren Stoffe nicht gleichmässig vertheilt ist, ergiebt sich unzweifelhaft aus den Erscheinungen der Dispersion: denn nach den Gesetzen der Ausbreitung einer Wellenbewegung in einem gleichförmigen Mittel müssten sich die langen und die kurzen Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fort-

pflanzen, was sich auch (wenigstens innerhalb gewisser Grenzen der Intensität) für den Schall und für das Licht im Weltenraume bestätigt hat. Im Innern der brechenden Körper aber tritt das Gegentheil ein, indem die kürzeren Wellen eine stärkere Verzögerung erfahren, wodurch die Farbenzerstreuung hervorgerufen wird. Die Erklärung dieser Erscheinung durch die Wellentheorie hat sehr grosse Schwierigkeiten bereitet, bis Cauchy auch hierüber Auskunft gab, indem er in Betracht zog, dass der Aether im Innern der Körper möglicherweise nicht ganz gleichmässig vertheilt ist. Auch Briot und Lamé sind ihrerseits zu ähnlichen Folgerungen gelangt, dass nämlich, wenn ein Mittel eine solche Constitution hat wie die wägbaren Körper, die aus Centren mit Atmosphären von verschiedener Dichtigkeit bestehen, in ihm die Geschwindigkeit der Wellen nicht mehr constant ist, sondern veränderlich, indem sie von der Wellenlänge abhängt: in einem solchen Mittel entsteht daher einestheils constante Verzögerung, ausserdem aber auch noch eine weitere Verzögerung, die im umgekehrten Verhältniss zum Quadrat der Wellenlänge steht und sich als Farbenzerstreuungsvermögen bemerklich macht[1]).

So klein man nun auch die Oscillationen der Molecüle annehmen mag, so muss man doch, auch wenn man sich nicht auf die analytischen Entwickelungen einlässt, zugeben, dass deren Grösse im Vergleich mit der Wellenlänge und mit dem Radius der Sphären von veränderlicher Dichtigkeit, welche jedes Molecül umgeben, nicht vernachlässigt werden darf: denn auch die letztere Grösse muss man als ausserordentlich gering annehmen. Deshalb sind die Aethermolecüle im Innern der Körper gezwungen in einem Mittel zu schwingen, welches in Wirklichkeit nicht homogen ist: woraus folgt, dass der Einfluss dieses Wechsels in der Dichtigkeit für die kürzeren Wellen viel empfindlicher sein muss, da sie eine grössere Zahl von Schichten von verschiedener Dichtigkeit durchwandern müssen. Zur Unterstützung dieser Erklärung könnte man noch folgende, von uns bereits erwähnte Thatsache anführen: sowohl durch die Beobachtung als auch durch die Theorie hat man gefunden, dass die Wellen schwerer Flüssigkeiten, wie des Wassers, in ihrer Geschwindigkeit vom Grunde durchaus nicht unabhängig sind, dass sie überall da

[1]) Briot, Comptes rendus, a. a. O. Vgl. auch Wüllner, Experimentalphysik, II. Bd., 3. Aufl., p. 103—113. Sch.

eine Verzögerung erleiden, wo sich derselbe erhebt; was bei diesen Wellen der Einfluss des Grundes bewirkt, das kann im Innern der Körper recht wohl durch die Anwesenheit der wägbaren Molecüle herbeigeführt werden.

Aus alledem, was wir in diesem Artikel besprochen haben, folgt, dass ein enges Band besteht zwischen den Erscheinungen der Strahlung und der molecularen Constitution der Körper; die mechanische Theorie der Wärme wird hierdurch vervollständigt, und es wird immer klarer, dass die molecularen und die chemischen Kräfte eines Ursprunges sind und einzig von der mechanischen Thätigkeit des Aethers selbst abhängen. Sollten unsere Hypothesen allzu gewagt erscheinen, so erklären wir, dass wir gern bereit sind, dieselben aufzugeben, sobald uns etwas Besseres dafür geboten wird: doch möchten wir bitten, dass ein solches abfälliges Urtheil aufgespart würde, bis alle die Thatsachen besprochen sind, deren Untersuchung noch im Rückstand ist. Für jetzt würde es keinen Vortheil gewähren, wenn wir uns weiter über diesen Gegenstand verbreiten wollten, ohne dass wir zugleich von einigen Wirkungen sprächen, welche bei gewissen Erscheinungen anderer Art eintreten und welche wir uns für die nächsten Bücher aufsparen müssen.

Nachdem wir somit die Hauptpunkte aus der Theorie des Lichtes behandelt haben, wollen wir jetzt in der Kürze einige mehr untergeordnete Thatsachen vorführen, welche für die Erkenntniss der Natur des Aethers nicht ohne Wichtigkeit sind und deren Besprechung auf die Hauptpunkte der Theorie ein neues Licht verbreiten wird.

KAPITEL VII.

Ueber einige Eigenthümlichkeiten der Wellenbewegung des Aethers in einem homogenen Mittel: Polarisation des Lichtes.

So leicht sich im Allgemeinen feststellen lässt, dass die Bewegung des Lichtes eine Wellenbewegung ist, mit so grossen Schwierigkeiten ist es verbunden, wenn man alle Modificationen, denen jene Bewegung des Aethers unterworfen ist, erkennen und bestimmen will. Diese Schwierigkeit wird durch zwei Ursachen her-

vorgerufen. Erstens sind uns die Eigenthümlichkeiten der Oscillationsbewegungen im Allgemeinen noch wenig bekannt, selbst wo es sich um wägbare Flüssigkeiten handelt, sodass die Resultate der Rechnung uns nur eine ungenügende Vorstellung von denselben geben würden, wenn uns die tägliche Erfahrung nicht mit den Eigenthümlichkeiten derselben bekannt machte: und zweitens können wir bei unserer Unkenntniss der physikalischen Beschaffenheit des Aethers und der Kräfte, denen er unterworfen ist, hieraus keinen Schluss auf die Eigenthümlichkeit seiner Bewegungen machen, sondern wir sehen uns genöthigt, aus den Modificationen dieser Bewegung selbst die Beschaffenheit des Mittels herzuleiten. Es kann nicht die Aufgabe dieses Buches sein solche Schwierigkeiten aufzuhellen, was auch ohne Hilfe der mathematischen Analysis gar nicht geschehen könnte: aber wir müssen einige Punkte berühren, welche mit der Constitution der Materie im engsten Zusammenhange stehen und deren Berücksichtigung uns später von grossem Nutzen sein wird.

Schon in der gewöhnlichen Mechanik unterscheidet man zwei Arten von Oscillationsbewegungen in continuirlichen flüssigen Mitteln; manche erfolgen in solcher Weise, dass sich bei jeder Schwingung die Dichtigkeitsverhältnisse der Masse ändern und dass die Schwingungen selbst in longitudinaler Richtung, also parallel mit dem Radius, nach dem sie sich ausbreiten, erfolgen, wie z. B. die Schallschwingungen in der Luft und im Wasser; bei anderen dagegen ändert sich die Dichtigkeit des Mittels nicht und die Bewegungen sind transversal oder senkrecht zum Radius, wie dies bei den Schwingungen der Fall ist, die sich über die Oberfläche stehenden Wassers unter dem Einflusse der Schwerkraft weiter verbreiten. Man sieht schon aus den angeführten Beispielen, dass dieselbe Flüssigkeit beide Arten von Bewegungen weiter ausbreiten kann, je nach der Natur der Kräfte, welche dabei zur Wirkung gelangen. Als man fragte, zu welcher von beiden Arten von Bewegungen wohl die Schwingungen des Lichtes gehören, so haben die Untersuchungen ergeben, dass sie zur zweiten Art zu rechnen sind; man gelangte zu dieser Ueberzeugung durch dieselben Erscheinungen, um deren Willen Newton angenommen hatte, dass die Strahlen Seiten oder Pole besässen, weshalb er die Erscheinung als P o l a r i s a t i o n bezeichnete.

Diese Erscheinungen, die zuerst Huyghens an den Strahlen be-

obachtete, welche durch krystallisirten kohlensauren Kalk, sogenannten Isländischen Doppelspath, hindurchgegangen waren, zeigten sich nach den Beobachtungen, welche viel später Malus anstellte, auch bei der gewöhnlichen Reflexion und Brechung der Lichtstrahlen: wir wollen diesen Erscheinungen jetzt eine kurze Besprechung widmen, für den Fall, dass sie vielleicht dem einen oder andern unserer Leser nicht in vollständiger Klarheit gegenwärtig sein sollten. Lässt man einen Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer eintreten und stellt man in seinem Wege einen Doppelspath auf, so theilt sich der Strahl in zwei Theile, welche für das Auge durchaus keinen Unterschied zeigen: lässt man sie dagegen auf einen nicht belegten Glasspiegel auftreffen, dessen Oberfläche mit ihrer Richtung einen Winkel von 36° bildet, so sieht man, dass sie in der Regel nicht ganz gleichmässig zurückgeworfen werden. Dreht man nun den Spiegel um die Richtung, in der die Strahlen sich ausbreiten, jedoch so, dass er immer dieselbe Neigung behält, so wird man bald einen Punkt finden, bei welchem nur der eine Strahl reflectirt wird, während der andere vollständig verschwunden ist; fährt man nun fort den Spiegel weiter zu bewegen, so wird, wenn die Drehung einen Winkel von 90° durchlaufen hat, der erste Strahl erloschen, der zweite dagegen gut sichtbar sein. Eine ganz ähnliche Erscheinung lässt sich an diesen Strahlen beobachten, wenn sie durch die Spiegelplatte hindurch gegangen sind, nur muss man dann, wenn das Erlöschen ein vollständiges sein soll, eine Reihe von Platten hinter einander aufstellen; und weiter stehen sich die Erscheinungen so gegenüber, dass der Strahl, welcher nicht reflectirt wird, gut hindurchgelassen wird, und umgekehrt. Man hat also gefunden, dass jeder der beiden Strahlen, wenn er entweder Reflexion oder Brechung erleidet, abwechselnd durch ein Maximum und Minimum der Intensität, welche um 90° von einander abstehen, hindurch geht; sowohl die beiden Maxima als auch die beiden Minima liegen einander diametral gegenüber.

Lässt man den einen dieser beiden Strahlen für sich allein durch ein zweites Kalkspath-Rhomboëder gehen, so theilt er sich gegewöhnlich wieder in zwei Strahlen von ungleicher Intensität; dreht man den zweiten Krystall, so findet man wieder, dass jeder dieser Strahlen abwechselnd durch ein Maximum der Helligkeit und durch vollständiges Verlöschen hindurch geht, und zwar sind die Lagen auch wieder um 90° von einander verschieden: nur in der mittleren

Lage zwischen beiden zeigen sich beide Strahlen von gleicher Stärke. Lässt man die beiden Strahlen, welche durch den ersten Krystall gebildet werden, gleichzeitig durch den zweiten hindurch gehen, so wird jeder derselben verdoppelt und zeigt die zuvor beschriebenen Phasen: in gewissen Lagen wird man daher vier Bilder sehen, in anderen dagegen nur zwei.

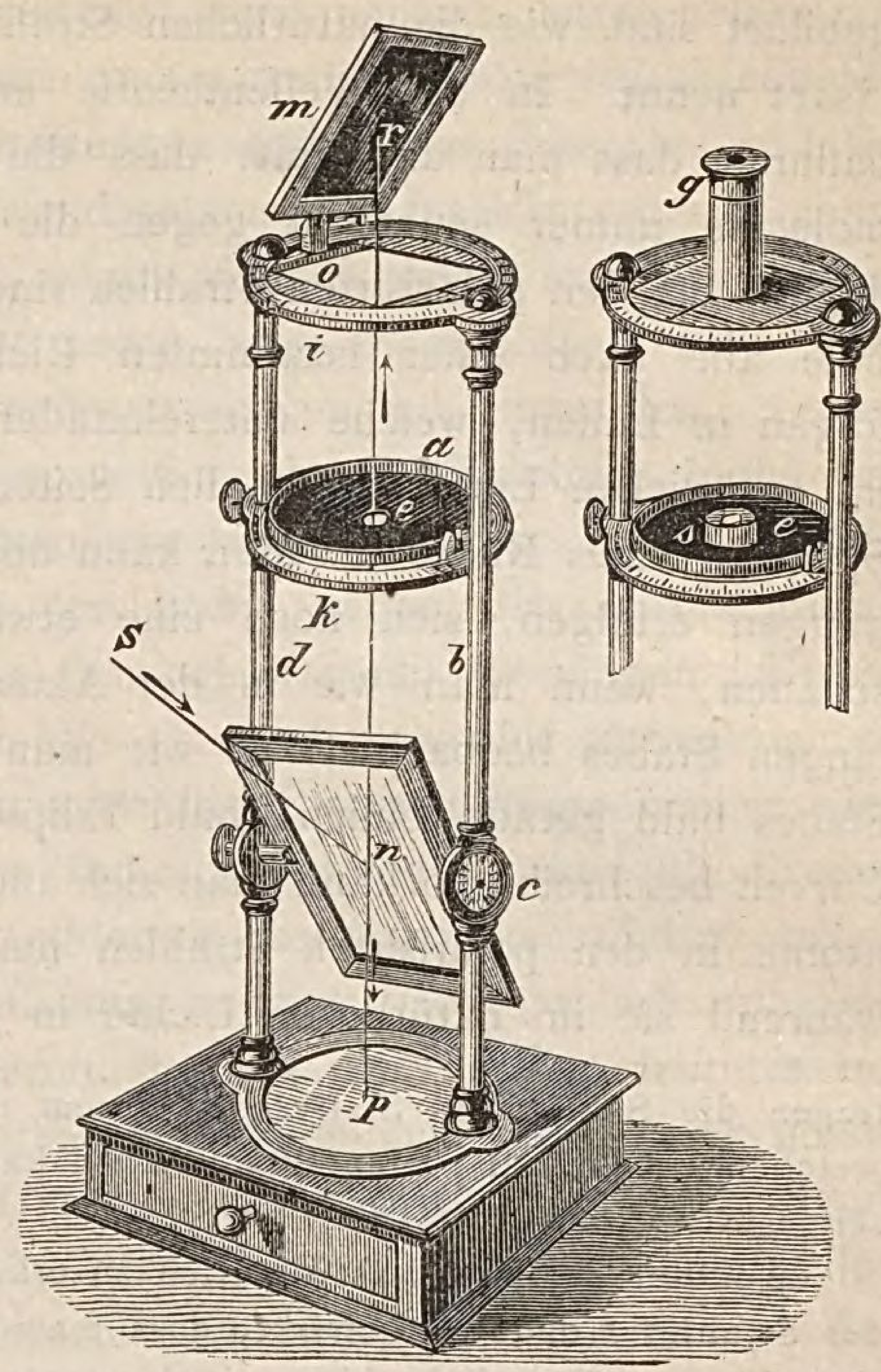


Fig. 18.

Diese Erscheinungen treten nicht nur dann ein, wenn das Licht durch einen Krystall hindurch geht, sondern dieselbe Eigenthümlichkeit lässt sich auch bei dem Lichte beobachten, welches vom Glase unter einem Winkel von 36° zurückgeworfen wird, oder auch ganz allgemein in dem Lichte, welches von irgend einem durchsichtigen Körper unter einem solchen Winkel zurückgeworfen wird, dass der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen Strahle senkrecht ist, wie man durch Versuche bestätigen kann, indem man Strahlen von verschiedenen Platten, denen man die geeignete Neigung giebt, zurückwerfen lässt und in der vorher beschriebenen Weise untersucht. Auch das Licht, welches durch eine oder mehrere parallele Platten, die gegen den Strahl dieselbe Neigung haben, hindurch geht, zeigt dieselbe Beschaffenheit [1]).

[1]) Alle diese Thatsachen lassen sich leicht mittels des Nörremberg'schen Polarisationsapparates (Fig. 18) bestätigen. Derselbe besteht aus einem horizontal liegenden belegten Spiegel *p*, über welchem sich ein unbelegter Spiegel *n* befindet, der um eine horizontale Axe drehbar ist. Der Winkel, den dieser Spiegel mit der senkrechten Linie macht, wird an einem Theilkreise *c* gemessen. Weiter oben befindet sich an dem Stativ eine Blende *e*, welche in einem getheilten Kreisringe *a* gedreht werden kann; endlich

Man kann sich leicht überzeugen, dass alle diese Erscheinungen derselben Classe angehören: sie zeigen nämlich, dass die Strahlen, welche auf die eine oder andere Weise, die wir beschrieben haben, modificirt sind, nicht mehr nach allen Seiten hin gleichmässig ausgebildet sind, wie die natürlichen Strahlen, weshalb man sie polarisirt nennt. In der Wellentheorie erklärt man ihre Entstehung dadurch, dass man annimmt, dass die Schwingungen der Aethermolecüle immer senkrecht gegen die Richtung des Strahles erfolgen: bei den polarisirten Strahlen sind die Bewegungen der Molecüle alle nach einer bestimmten Richtung hin orientirt und erfolgen in Linien, welche untereinander parallell sind, während sie im natürlichen Lichte nach allen Seiten hin gerichtet sind, wie die Speichen eines Rades [1]). Man kann über die Art, wie diese Schwingungen erfolgen, sich noch eine etwas klarere Vorstellung verschaffen, wenn man wie in der Akustik die Schwingungen eines langen Stabes beobachtet: so wie man sieht, dass das Ende dieses Stabes bald gerade Linien, bald Ellipsen oder Kreise oder andere Curven beschreibt, so kann man sich auch vorstellen, dass die Aetheratome in den polarisirten Strahlen nur gerade Linien beschreiben, während sie im natürlichen Lichte in Curven jeder Art schwingen.

tragen die Säulen des Statives an ihrem oberen Ende einen Ring *i*, in welchen ein Gestell *o* eingesetzt werden kann, das einen auf seiner Rückseite geschwärzten Glasspiegel trägt.

Aus der Zeichnung ist deutlich zu erkennen, wie man die Polarisation des Strahles *s* dadurch bewirkt, dass man denselben vom Spiegel *n* reflectiren lässt, während derselbe mit der senkrechten Linie einen Winkel von 36° bildet. Der in *n* reflectirte Strahl gelangt nun in senkrechter Richtung auf den Spiegel *p*, welcher ihn unverändert senkrecht nach oben zurückwirft. Der Strahl durchdringt weiter den nicht belegten Spiegel *n*, geht dann durch die Oeffnung der Blende *e*, und trifft endlich auf den Spiegel *m*, dem man ebenfalls eine Neigung von 36° gegen die Senkrechte giebt. Dreht man das Gestell, das den letzteren Spiegel trägt, so kann man leicht die Lagen finden, in denen der Strahl vom zweiten Spiegel nicht reflectirt wird.

Die Abbildung, welche sich zur Seite in Fig. 18 findet, zeigt, wie man den Apparat abzuändern hat, um die Strahlen zu untersuchen, welche durch zwei Doppelspathe oder auch andere Krystalle hindurchgehen: man bringt den einen in die Blende *e*, den andern aber versetzt man an Stelle des zweiten Spiegels nach *g*. S.

[1]) Die Schwingungen des polarisirten Strahles lassen sich etwa in dieser Weise aarstellen: ≡ oder ||||, während sich für das gewöhnliche Licht folgende Anordnung ergiebt: ✳. S.

Man kann sogar angeben, in welchen Fällen die Schwingungen elliptisch oder kreisförmig sind, worauf wir später wieder zurückkommen werden.

Die Polarisationserscheinungen beweisen auf das Klarste, dass die Lichtschwingungen transversal sein müssen: denn wenn die Schwingungen der Aethermolecüle im longitudinalen Sinne erfolgten, so müsste die Richtung der Reflexionsebene des Spiegels bezüglich der Axe des Strahlenbündels durchaus gleichgültig sein, so lange seine Neigung gegen diesen Strahl dieselbe bleibt; sind sie dagegen transversal, so stellt sich die Sache ganz anders: denn wenn dann die Oscillationen parallel zur Spiegelfläche sind, so werden sie leicht zurückgeworfen, können aber nicht in das durchsichtige Mittel eindringen; erfolgen sie dagegen in einer Ebene, die zur Spiegelfläche rechtwinklig ist, so werden sie heftig gegen die Oberfläche des Mittels stossen und können dann in dasselbe eindringen. Fresnel hat auf die Lichtmolecüle die Gesetze von der Zerlegung der Kräfte, welche aus der gewöhnlichen Mechanik hergenommen sind, angewendet und es ist ihm dadurch gelungen, über alle Erscheinungen, bei welchen die Strahlen in verschiedenem Grade zurückgeworfen und hindurch gelassen werden, Rechenschaft zu geben und somit zu erklären, warum das polarisirte Licht nicht reflectirt wird, sobald der zurückgeworfene Strahl auf dem gebrochenen Strahle senkrecht sein müsste, wie es die von Brewster aufgestellte Regel angiebt. Später hat Cauchy diese Untersuchungen wieder aufgenommen und eine allgemeinere mathematische Analysis bei denselben zur Anwendung gebracht, wodurch es ihm, wie bereits erwähnt, gelungen ist, vollständigere Formeln aufzustellen, in denen die Fresnel'schen enthalten sind, und die sich auch auf Erscheinungen erstrecken, welche dem Scharfsinne jenes Forschers entgangen waren.

Treffen zwei Strahlen zusammen, welche unter einem rechten Winkel zu einander polarisirt sind, so können sich ihre Schwingungen nicht gegenseitig aufheben, sondern sie setzen sich so zusammen, dass sich das Molecül in einer geschlossenen Bahn bewegt: bei rechtwinklig zu einander polarisirten Strahlen giebt es daher keine Interferenz, wenngleich der Phasenunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt. Diese Folgerung ist durch die Beobachtung direct bestätigt worden, und aus ihr ergiebt sich der charakteristische Unterschied zwischen dem natürlichen und dem elliptisch oder kreisförmig oder in sonst einer geschlossenen Curve polarisirten Lichte.

Aus allen diesen Erscheinungen hat man nun einige Schlüsse gezogen, auf welche wir jetzt zu sprechen kommen. Erstens sehen wir, dass die Structur des Aethers solcher Art ist, dass in ihm bei der Ausbreitung der Lichtwellen Aenderungen in der Dichtigkeit nicht eintreten. Dass in den natürlichen Strahlen die Bewegungen transversal seien, dafür haben wir zwar in der That keinen eigentlich directen Beweis, sondern haben diesen Schluss blos auf Analogie gegründet; allein wenn wir sehen, dass die Natur eines Mittels und die Kräfte, die in ihm wirken, solcher Art sind, dass nach der Reflexion oder Brechung eines Strahles die Bewegungen in ihm nur in einer ganz bestimmten Richtung erfolgen, so müssen diese Bewegungen auch schon zuvor in ihm enthalten gewesen seien. Cauchy hat versucht die Natur der Kräfte festzustellen, denen ein Mittel unterworfen sein muss, wenn in ihm Schwingungsbewegungen der angegebenen Art entstehen sollen: und er hat gefunden, dass zwei Voraussetzungen den Forderungen genügen. Entweder müssen auf die Molecüle anziehende Kräfte wirken, die mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen; oder die Molecüle müssen mit abstossenden Kräften begabt sein, welche (wenigstens in der Nähe der Berührungsstellen) mit der vierten oder einer noch höhern Potenz umgekehrt proportional sind. Bei der ersten Annahme würde sich ergeben, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional sein müsste mit der Häufigkeit, mit welcher die Wellen in der Schwingungsebene auf einander folgen: nach der zweiten Hypothese würden sie dagegen hiervon unabhängig sein; unter dieser Bedingung könnte auch keine merkliche Dispersion der Farben erfolgen, wie es wirklich im freien Aether der Fall zu sein scheint[1]). Da aber diese Resultate nur durch analytische Näherungsmethoden abgeleitet sind, so können sich wohl noch Ausnahmen auffinden lassen: zum Wenigsten dürfen wir nicht mit allzu grosser Sicherheit auf sie bauen.

Wenn wir in Rücksicht auf die Polarisationserscheinungen nun zugeben müssen, dass die Aetherschwingungen transversal sind, so kommt es jetzt darauf an die Constitution des Mittels, in welchem sie erfolgen, so darzustellen, dass sie auch denen verständlich wird, welchen die Geheimnisse der Analysis nicht zugänglich sind. Schon

[1]) Cauchy, Exercices d'analyse et de Phys. math., t. I., p. 289. Briot hat später die abstossenden Kräfte umgekehrt proportional mit den 6. Potenzen gefunden, wie wir bereits erwähnten. S.

Fresnel hat darauf aufmerksam gemacht, dass es sich im Allgemeinen recht wohl denken lässt, dass ein wägbares Molecül bei seinen Schwingungen dem Aether Stösse ertheile, welche in ihm auch longitudinale Schwingungen erzeugen: allein durch den Widerstand des Aethers werden diese Oscillationen sehr bald erlöschen, da in ihm nur Ausweichungen in der Richtung der Querschnitte erfolgen können. Diese Behauptung ist zwar ganz richtig, allein es fragt sich immer, welchen annehmbaren Grund man wohl dafür angeben kann: denn die Vergleiche, die man hierzu herbeizieht, sind der Erscheinung durchaus nicht ganz entsprechend. So führt man als Beispiele für die transversalen Bewegungen gewöhnlich die Schwingungen des Wassers, der Saiten und der Platten an: allein in allen diesen Fällen ist es klar, warum die Bewegung in diesem Sinne erfolgt: sie folgt der Richtung des geringsten Widerstandes im flüssigen Mittel oder im festen Körper; warum aber in einem homogenen Mittel, wie im Aether, der Widerstand in seitlicher Richtung geringer sein soll, als in longitudinaler, das ist nicht wohl einzusehen. Indem ich oft über diese Schwierigkeit nachdachte, ist mir eine Conjectur in den Sinn gekommen, die ich jetzt auseinandersetzen will in der Hoffnung, dass sie vielleicht bei Anderen bessere Ideen anregen und dadurch zur Aufklärung dieser Dunkelheit beitragen könnte.

Alle die, welche bisher eine Erklärung für die Ausbreitung der oscillirenden Bewegungen in elastischen Mitteln ohne mathematische Analysis haben geben wollen, konnten sich nicht von Huyghens' Vorstellung losreissen, dass die Aethermolecüle elastische Kugeln seien, die sich in absoluter Ruhe befinden; und es ist mir nicht bekannt, dass Jemand bis jetzt untersucht hätte, nach welchem Gesetze wohl die Ausbreitung in einem Mittel erfolgen müsste, das aus lauter rotirenden Körpern besteht, gleichviel ob dieselben im gewöhnlichen Sinne des Wortes elastisch sind oder nicht. Wenn uns nun das Recht nicht abgesprochen werden sollte von den Erscheinungen, die wir an einem isolirten und in Drehung versetzten Körper beobachten, auf die zu schliessen, die in einem solchen Mittel vor sich gehen, so werden wir sehen, dass es nicht unmöglich ist, dass Bewegungen nothwendig eintreten müssen, die so erfolgen, wie diejenigen, deren Erklärung wir suchen.

Wird einem rotirenden Körper ein Stoss in einer Richtung ertheilt, die in eine auf der Rotationsaxe senkrechte Ebene fällt, so lehrt uns die Mechanik, dass sich dann eine neue spontane Rota-

tionsaxe bildet, und hierdurch wird in der Regel der Erfolg erzielt, dass sich der Schwerpunkt seitwärts im Vergleich mit der Richtung des Stosses bewegt: man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man gegen einen Kreisel stösst: derselbe wird in den meisten Fällen seitwärts vor dem Stosse ausweichen. Am besten zeigt sich dies in dem von Marianini angegebenen Experimente: stellt man einen rechts drehenden Kreisel auf eine horizontale Platte und neigt man dieselbe, sobald der Kreisel eine feste Stellung eingenommen hat, von Süd nach Nord, so wandert der Kreisel von West nach Ost; neigt man dagegen die Platte von Ost nach West, so bewegt sich der Kreisel von Süd nach Nord. Hierbei ist es die durch die Schwerkraft neu hinzukommende Componente, welche verursacht, dass sich der Kreisel in einer Richtung bewegt, die auf der Componente selbst rechtwinklig ist, was ohne die Rotation sicherlich nicht geschehen würde.

Erfolgt der Stoss nicht in einer Ebene, die auf der Richtung der Axe senkrecht ist, sondern unter einem rechten oder schiefen Winkel gegen diese Ebene, so erfolgt ausserdem, dass sich der Schwerpunkt zur Seite bewegt, auch noch eine Abweichung der Axe; die Regel, nach der diese Abweichung eintritt, ist in der Mechanik der drehenden Bewegungen wohl bekannt; man kann sie etwa kurz so ausdrücken, „dass die Axe immer rechtwinklig abweicht zu der Ebene, welche durch ihre ursprüngliche Richtung und die Richtung des Stosses gelegt werden kann“ [1]).

Aus dem Gesagten geht hervor, dass, wenn die Aetheratome in Rotation sind 1) die Fortbewegung in seitlicher Richtung gegen die Richtung des Stosses nicht blos möglich, sondern auch nothwendig ist und die longitudinalen Bewegungen vollständig unmerklich werden können, wenn die Rotation eine etwas hohe Geschwindigkeit im Vergleiche mit der Stärke des Stosses erreicht hat; und 2) dass wir bei den Aethermolecülen noch eine zweite Art von Bewegung zu beachten haben, nämlich die Oscillationen ihrer Axen, welche

[1]) In dieser Weise erklären sich die Erscheinungen des Gyroskopes, und aus diesem Grunde bewirkt die Anziehung der Sonne und des Mondes auf die äquatoriale Anschwellung der Erdkugel, dass deren Drehungsaxe die Oberfläche eines Kegels beschreibt; statt dass also die Axe unserer Erde in der Zeit von 14 Jahren eine Oscillation in einer Ebene ausführt, wie es der Fall sein müsste, wenn sich die Erde nicht drehte, beschreibt dieselbe in einem Zeitraume von 25000 Jahren einen vollen Kegelmantel. S.

dadurch, dass sie sich senkrecht zur Richtung des Stosses stellen wollen, wesentlich zu jener Fortpflanzung nach der Seite hin beitragen. Auf diese zweite Bewegung nimmt man gewöhnlich nicht Rücksicht, aber bei der Unklarheit, in der wir uns noch über die Natur des Aethers befinden, sollte man sich doch bemühen, ihren Einfluss kennen zu lernen. Auch scheint es mir, als könnte es nicht schwer halten durch dieses Mittel eine ziemlich einfache Erklärung der hauptsächlichsten Polarisationserscheinungen zu geben, und wir gelangen in dieser Weise zu der von Fresnel aufgestellten Hypothese, dass die Oscillationsbewegungen senkrecht zur Polarisationsebene erfolgen. Denn wenn die drehenden Molecüle gegen die geneigte spiegelnde Fläche mit ihrem Aequator stossen, so werden sie sich gegen die Reflexionsebene so einstellen, dass ihre Axen nach rechts und links von derselben abweichen. In ähnlicher Weise werden die Stösse, welche im Innern eines brechenden Mittels nach rechts und links hin erfolgen, Oscillationen der Axen in der Brechungsebene selbst hervorbringen, sodass die Oscillationsebenen des reflectirten und des gebrochenen Strahles senkrecht gegen einander, sowie auch gegen die Ebenen erfolgen, welche man gewöhnlich als die Polarisationsebenen bezeichnet. Wir haben dies nur andeuten wollen, um zu zeigen, dass es sich wohl erklären lässt, warum die Schwingungen im transversalen Sinne erfolgen, wollen aber durchaus nicht behaupten, dass nicht auch eine fortschreitende Bewegung der Atome bestehen könne. Wäre es denn aber nicht denkbar, dass die Lichtschwingungen nicht gerade durch fortschreitende Bewegungen in transversaler Richtung erzeugt werden, sondern nur durch einfache Oscillationen der Axen der Aetheratome um ihre Rotationscentren? In diesem Falle würde alle Schwierigkeit schwinden. Ohne dass es unsere Absicht ist die einmal gefassten Meinungen durch neue zu ersetzen, mag diese Hindeutung genügen um zu zeigen, dass die Annahme einer solchen transversalen Bewegung nicht so schwierig ist, als Manche glauben; die Natur zeigt sich immer reicher an Hilfsmitteln, als wir uns vorstellen können.

Was wir im vorstehenden Kapitel darüber gesagt haben, dass die Rotationsbewegungen einen vollständigen Ersatz für die Elasticität abgeben können, das muss sich natürlich betreffs dieser Kraft auch auf den Aether übertragen lassen. Welche Hypothese man aber auch annehmen möge um zu erklären, dass die Schwingungen transversal sind, so ist es auf alle Fälle klar, dass diese Thatsachen

zu der Voraussetzung führen, dass der Aether aus getrennten Atomen besteht, auf welche sich die Gesetze von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte, wie sie in der Statik gelehrt werden, anwenden lassen; alle Physiker und Mathematiker sind zu dieser Folgerung gelangt und wir haben schon erwähnt, das Cauchy sogar versucht hat, für den Abstand der Aetheratome den grösstmöglichen Werth zu berechnen. Mossotti aber kommt, indem er Fresnel's Schlussfolgerungen auseinandersetzt, zu folgendem Schlusse: „Dass der Aether aus isolirten Atomen besteht und dass in ihm transversale Schwingungen erfolgen, sind zwei aufs Engste mit einander verknüpfte Thatsachen, von denen die eine nicht ohne die andere bestehen kann“ [1]). Also auch die Annahme, welche von Manchen gemacht wurde, dass der Aether continuirlich sei, ist nicht statthaft.

Die Polarisation des Lichtes ist ein im höchsten Grade werthvolles Mittel um die innere Structur der Körper zu erkennen, und durch sie wird das Licht das empfindlichste analytische Werkzeug, durch welches sich ihre Beschaffenheit erforschen lässt: um mich eines Bildes zu bedienen, das von einem berühmten Schriftsteller herrührt, gleicht es dem Wanderer, der unbekannte Länder durchstreift hat und zurückkehrt, reich beladen mit Erfahrungen, durch welche er unsere Kenntniss jener Gegenden vermittelt. Durch dieses Mittel hat man erkannt, dass feste Körper, die scheinbar durchaus homogen sind, in ihrer Structur bedeutende Ungleichheiten besitzen, und dass auch die Zusammensetzung der Flüssigkeiten viel verwickelter ist, als man ahnte. Durch seine Hilfe konnte man die Einwirkung des Magnetismus auf durchsichtige Körper auffinden; und endlich ist der Polarisationsapparat, indem er sich weit über die Arbeitsstube des Naturforschers verbreitete ein vorzügliches Werkzeug geworden durch das sich die Fälschungen der wichtigsten Stoffe erkennen lassen [2]). Indem wir alle die wunderbaren Erscheinungen

[1]) Mossotti, Physiq. mathém., V. II leç. XXVIII, p. 324, Anm. S.

[2]) Allgemein bekannt ist seine Anwendung bei der Untersuchung von Flüssigkeiten, die Zucker oder andere Stoffe enthalten, welche die Polarisationsebene drehen. S.

Was die Drehung der Polarisationsebene z. B. im Quarz betrifft, so verweisen wir auf folgenden von Reusch bereits im Jahre 1869 angestellten, von Sohncke, später discutirten Versuch. Schichtet man eine Anzahl gleicher, sehr dünner Glimmerblättchen so über einander, dass jedes folgende gegen

übergehen, welche uns in den Körpern durch das polarisirte Licht offenbar werden, wenden wir uns jetzt nur noch zu einem Gegenstande, der mit unseren Untersuchungen engstens zusammenhängt, nämlich zur Structur der Metalle.

KAPITEL VIII.

Die Undurchsichtigkeit der Körper und besonders die Eigenschaften der Metalle bezüglich des Lichtes.

Kein Körper ist vollkommen durchsichtig, sowie auch kein Körper vollständig undurchsichtig ist, wenn seine Dicke nur auf ein genügend kleines Mass gebracht wird: es wird also von jedem immer einiges Licht absorbirt, das sich, wie erwähnt, in Wärme oder chemische Thätigkeit verwandelt. Diese Absorption kann verschiedene Gründe haben, wie aus den Betrachtungen hervorgeht, die wir bisher angestellt haben. Sie kann hervorgebracht werden: 1) durch die Reibung, welche die Welle zu überwinden hat, indem sie sich um die Molecüle von mehr oder weniger eckiger Form herumwindet; 2) durch die Arbeit, welche die lebendige Kraft des Aethers verrichtet, indem sie für den Durchgang der Welle die Molecüle in einen neuen permanenten Gleichgewichtszustand versetzt; und 3) dadurch, dass die wägbaren Molecüle selbst in höherem oder geringerem Grade fähig sind mit dem einfallenden Strahle im Einklange zu schwingen; oder 4) in dem Falle, dass Wellensysteme eindringen, die mit einander nicht im Einklange sind, durch die Vereinigung dieser Wellen [1]). Es bleibt uns jetzt noch die Untersuchung einer wichtigen Klasse von absorbirenden Körpern übrig, nämlich der Metalle.

Schon seit langer Zeit giebt man als ein hauptsächliches Merk-

das vorhergehende um einen bestimmten Winkel rechts oder links gedreht ist, so verhält sich diese Säule wie ein rechts- oder linksdrehender Quarzkrystall, woraus sich der Schluss ziehen lässt, dass in letzterem die Anordnung der Molecüle eine ebensolche sein dürfte. (Math. Ann. Bd. IX.) Sch.

[1]) Wir wollen hier einen von Tartini angestellten Versuch zum Vergleiche heranziehen: Als dieser Physiker zwei Saiten schwingen liess, deren Grundtöne Schwingungszahlen besassen, welche unter sich Primzahlen waren, so gab eine dritte Saite, die durch beide zum Mitschwingen gebracht wurde, ihren eigenen Grundton, wenn derselbe auch viel tiefer war, als die beiden anderen Töne. Beachtet man die Incommensurabilität der erregenden Töne, so ist der Grund hierfür leicht einzusehen. S.

mal, das die Metalle vor anderen Körpern auszeichnet, ihren eigenthümlichen Glanz an, sowie eine besondere Art von Undurchsichtigkeit welche man nicht auf Rechnung von Unregelmässigkeiten in ihrer Structur setzen darf, wie bei vielen anderen Körpern, da sie bei jenen auch dann vorhanden ist, wenn sie sehr rein und krystallisirt sind. Dass die Metalle bezüglich des Lichtes ein ganz eigenthümliches Verhalten zeigen, hat sich seit der Entdeckung der Polarisation deutlich gezeigt: denn während es bei jeder durchsichtigen Substanz einen bestimmten Einfallswinkel giebt, bei dem die Strahlen vollständig polarisirt zurückgeworfen werden, so hat man etwas Aehnliches bei den Metallen in keiner Weise beobachten können, und man hat immer nur gefunden, dass bei einem gewissen Winkel die Polarisation einen grössten Werth hat, doch auch dann ist sie noch immer sehr unvollkommen. Deshalb glaubte man annehmen zu müssen, dass die brechende Kraft der Metalle ausserordentlich gross sei, denn der Winkel der stärksten Polarisation, welcher mit der brechenden Kraft wächst, hat sich immer von ziemlicher Grösse gezeigt; und man hat zu diesem Zwecke an die Eigenschaften des Diamanten erinnert, welcher ebenfalls das Licht sehr stark bricht und nicht vollständig polarisirt, sich also in dieser Beziehung an die Metalle anschliesst. Dagegen aber giebt es eine andere Erscheinung, welche noch besser an das Verhalten der Metalle gegen das Licht erinnert, das ist die totale Reflexion an den inneren Flächen eines Prisma, wenn die Strahlen unter einem so grossen Winkel auf dieselben treffen, dass sie nicht aus ihnen austreten können: und in der That hat diese Erscheinung den Schlüssel geliefert zum Verständnisse des Verhaltens der Metalle gegen das Licht.

Mit jener Intuition, mit welcher das Genie die Wahrheit erblickt, auch wenn ihm noch die Beweise fehlen, durch welches es auch Andere von derselben überzeugen kann, hat Fresnel gefunden, dass das Licht bei der totalen Reflexion gewisse Modificationen erleidet, sodass, wenn der polarisirte Strahl unter einem bestimmten Winkel und einem bestimmten Azimuthe auf die Fläche des Prisma trifft, die beiden Componenten, in welche er sich zerlegt und welche vereinigt wieder den reflectirten Strahl geben, einen Phasenunterschied besitzen, indem die eine Componente eine Verzögerung erleidet. Diese Verzögerung erfolgt in der Weise, als wenn an der Grenze der verschiedenen Dichtigkeit, welche die beiden Mittel von

einander trennt, die Theilchen stufenweise je nach ihrem Abstande von dem fremden Mittel beeinflusst würden: hierdurch geschieht es, dass der reflectirte Strahl elliptische Schwingungen ausführt, die auch leicht in kreisförmige übergehen können. Genau derselbe Fall tritt bei den Metallen ein, welche ebenfalls das Licht elliptisch polarisiren, und man kann hierbei den Unterschied der Phasen nach Belieben steigern, wenn man die Strahlen an der Oberfläche mehrfach reflectiren lässt.

Da die elliptische Polarisation nur dann eintreten kann, wenn die beiden Componenten des reflectirten Strahles einen Phasenunterschied besitzen, so ergiebt sich hieraus, dass beide in die Substanz ein wenig eindringen, jedoch die eine tiefer als die andere: hierdurch bleibt erstere hinter der andern zurück und dadurch entsteht der für die elliptische Polarisation erforderliche Unterschied [1]). Der Versuch hat gezeigt, dass diese Erklärung vollständig richtig ist: denn die Strahlen, die von glühenden Metallen unter sehr schiefen Winkeln reflectirt werden, sind wirklich polarisirt, und andererseits, wenn Metalle in so dünne Blättchen geschlagen werden, dass das Licht durch sie hindurchgeht, so ist dasselbe, auch wenn jene Blättchen nicht erwärmt werden, so stark polarisirt, dass nach Faraday ein Goldblatt als Polarisator besser wirkt als ein Bündel Platten aus Krystallglas. Auch Hempel in Paris hat zur Erzeugung der circularen Polarisation einen Apparat construirt, welcher auf demselben Princip beruht, indem er sich dazu einer dünnen Silberplatte bedient, die auf chemischem Wege auf Glas niedergeschlagen wurde. Auch in diesem Falle zeigt sich die Verschiedenheit der beiden Componenten, indem die Polarisationsebene im hindurchgelassenen Strahle gedreht erscheint: und zwar ist diese Drehung bei den verschiedenen Metallen von verschiedener Grösse [2]).

[1]) Bekanntlich ist aus mechanischen Gründen zur Entstehung der elliptischen Polarisation erforderlich, dass die beiden Oscillationsbewegungen senkrecht zu einander erfolgen, und dass der Phasenunterschied zwischen o und $^1/_4$ Wellenlänge liegt: beträgt derselbe gerade $^1/_4$ Wellenlänge, so geht die Ellipse in einen Kreis über; wächst er darüber hinaus, so entstehen wieder Ellipsen, die aber nach der andern Seite hin geneigt sind. S.

[2]) Faraday, Philos. Trans., 1857, I., p. 148. Die Drehung der Polarisationsebene ist eine ziemlich verwickelte Erscheinung, die nur da eintreten kann, wo sich mehrere Bewegungen zusammensetzen: gewöhnlich entsteht sie durch zwei spiralförmige Bewegungen, von denen die eine rechts-, die

Der allgemeinen Theorie Cauchy's war es vorbehalten alle Erscheinungen der Reflexion und Strahlenbrechung aufs Genaueste mit einander zu verknüpfen: während er von den allgemeinen Gesetzen der Schwingungsbewegungen ausging, zeigte er, dass die Erscheinung der elliptischen Polarisation bei der Reflexion bei allen Substanzen eintreten müsse, und dass nur das Intervall, in dem sie eintritt, verschiedene Ausdehnung hat; wenn dasselbe bei den Metallen ziemlich weit ist, so kann es für andere Stoffe doch nicht vollständig verschwinden. Die Theorie lehrt, dass, wenn ein Strahl unter dem Winkel zurückgeworfen wird, bei welchem er am vollkommensten polarisirt ist, derselbe eine halbe Wellenlänge verliert, während er durch jenen Grenzwerth hindurch geht: ein solcher Sprung kann aber unmöglich ganz plötzlich eintreten. Nun besteht zwischen den Metallen und den durchsichtigen Körpern der Unterschied, dass das Intervall, in welchem dieser Uebergang stattfindet, bei den ersteren ziemlich weit, bei letzteren aber ausserordentlich eng ist, wie auch durch Versuche, die Jamin anstellte, sich bestätigt hat. Weiter hat man erkannt, dass man aus dem Winkel der grössten Polarisation die Geschwindigkeit des Lichtes im Innern der Metalle nicht berechnen und daraus also auch nicht den Brechungsexponenten ableiten konnte, indem man auf so ungeheuere Werthe geführt wurde, dass dieselben nicht recht glaublich erschienen. So würde sich für das Gold, bei dem die grösste Polarisation bei einem Winkel von 15° eintritt, der Exponent gleich 3,79 ergeben, bei anderen Metallen aber würde er noch grösser ausfallen; ausserdem müsste auch im Gegensatze zu anderen Körpern die Brechbarkeit mit der Länge der Wellen wachsen [1]). Die letztere Folgerung ist in neuerer Zeit als richtig nachgewiesen worden bei einigen nicht metallischen Stoffen, welche sich aber in Bezug auf die Reflexion ähnlich verhalten wie die Metalle: so haben Kuhn und Govi in den Spectren des Anilin und verwandter Stoffe gesehen, dass das Roth stärker abgelenkt wurde, als das Violett, dass mithin das Spectrum umgekehrt war. Aus der Theorie können wir nachweisen, dass der Winkel der grössten Polarisation eine Function von zwei Grössen ist: die eine ist abhängig von der Geschwindigkeit und steht im Zusammenhange mit

andere linksdrehend ist, und die um 1/4 Wellenlänge von einander verschieden sind. Vgl. hierüber die Specialwerke. S.

[1]) S. Billet, Optique, t. II, pag. 145. S.

dem eigentlichen Brechungsexponenten, die andere dagegen hängt von einer eigenen Thätigkeit des Mittels ab, durch welche die Ausbreitung in seinem Innern gehindert und ein Erlöschen der Strahlen hervorgerufen wird: diese letztere Grösse hat Cauchy als Auslöschungscoëfficient bezeichnet. Diese verlöschende Kraft ist es, welche die Geschwindigkeit der einen Componente des Strahles so abändert, dass dieselbe bei einer später eintretenden Reflexion gegen die andere diejenige Verzögerung erfährt, welche für das Entstehen der elliptischen Form der Schwingungen erforderlich ist. So vereinigt sich die Undurchdringlichkeit der Metalle für das Licht mit ihrem Reflexionsvermögen, sodass sie eine Kategorie von Körpern bilden, in denen sich die transversalen Schwingungen nur bis zu einer geringen Tiefe ausbreiten können [1]).

Der Leser wird leicht begreifen, von welcher Wichtigkeit diese Folgerungen für die Theorie sind: der Unterschied zwischen den durchsichtigen Mitteln [2]) und den Metallen besteht also offenbar darin, dass jene die longitudinalen Wellen aufhalten, während diese die transversalen in ihrer Bewegung hindern. Man muss daher die Eigenthümlichkeiten der durchsichtigen und der metallischen Mittel unter anderen Verhältnissen und bei anderen Wirkungen vergleichen, um zu erfahren, worin das eigenthümliche Verhalten der letzteren seinen Grund hat. Zunächst wollen wir erwähnen, dass dasselbe wohl nicht gerade mit der chemischen Beschaffenheit des Stoffes im Zusammenhange steht, sondern eher mit der Anordnung seiner Molecüle; denn in der That verhält sich der Kohlenstoff als Graphit und als Steinkohle wie ein Metall, während er im krystallisirten Zustande als Diamant zu den durchsichtigen Körpern gehört, und es ist hierbei nur von untergeordneter Bedeutung, dass er das Licht nicht vollständig polarisirt, da man gefunden hat, dass dies nur von der Intensität, mit welcher er das Licht reflectirt, abhängt. Die-

[1]) Ausser Cauchy s. auch Billet, t. II, pag. 139. S.

[2]) Man muss bei dieser Unterscheidung nur auch beachten, dass das Licht nicht allein aus den Bestandtheilen zusammengesetzt ist, welche auf unsere Netzhaut einwirken: wir müssen also auch diejenigen Körper zu den durchsichtigen rechnen, welche nur Strahlen hindurchlassen, die jenseits des rothen oder des violetten Endes des Spectrums liegen. So haben z. B. Abney und Festing gezeigt, dass dünne Ebonitplatten die Strahlen von geringer Brechbarkeit recht wohl hindurchlassen. S. Philos. Mag., Ser. 5, Vol. XI, June 1881, p. 466. Sch.

selben Beobachtungen hat man beim Bor angestellt welches ebenfalls in zwei Formen vorkommt, die dem Vorkommen des Kohlenstoffes als Graphit und als Diamant entsprechen.

Wie man den wahren Grund für diese Erscheinungen auffinden kann, das haben die Versuche Faraday's gezeigt [1]). Es ist bekannt, dass das Gold in sehr dünnen Blättchen durchsichtig ist und dass es im durchgehenden Lichte eine schöne grüne Farbe besitzt: beim ganz reinen Golde nähert sich die Farbe sogar ein wenig dem Blau. Nun besitzen die gewöhnlichen Goldblättchen nach dem genannten englischen Physiker eine Dicke, welche dem fünften oder sechsten Theile der Wellenlänge des gelben Lichtes gleichkommt: liess er die geschlagenen Blättchen auf einer Lösung von Kaliumcyanür in Wasser schwimmen, so konnte er die Dicke noch weiter verringern, bis sie nach seiner Meinung kaum noch den funfzigsten Theil jener Welle betrug; auch Prof. Govi hat Goldblättchen niedergeschlagen, die vielleicht noch dünner waren. Trotz dieser ausserordentlichen Feinheit änderte sich die Färbung durchaus nicht und es erklärt sich auch hieraus, warum bei diesen Blättchen unter dem Mikroskope auch nicht die geringste Unterbrechung des Zusammenhanges bemerkt werden kann: die Färbung hat also ihren Grund in wirklichen Vorgängen der Absorption. Dies wird weiter dadurch bewiesen, dass das Licht durch diese Blättchen stark polarisirt wird: taucht man dieselben in Schwefelkohlenstoff, um die Einwirkung des Glases, auf welchem sie niedergeschlagen waren, unschädlich zu machen, so polarisirten sie stärker als eine Glasplatte in der Luft. Jene Färbung wird, wie Faraday bewiesen hat, nur von der Compression der Metalltheilchen hervorgerufen: denn erwärmt man sehr vorsichtig die Blättchen auf Glas, so werden sie ausserordentlich durchsichtig; allein es genügt dann schon ein leiser Druck mit dem Nagel oder mit dem Polirstahle gegen dieselben, um ihnen die grüne Farbe wiederzugeben.

Diese Eigenschaft ist nicht dem Golde allein eigenthümlich, sondern man kann auch bei anderen Metallen ohne grosse Schwierigkeiten zeigen, dass sie durch Temperaturerhöhung durchsichtig werden, und es ist uns dies zu zeigen sowohl bei weissglühendem Eisen als auch bei geschmolzenem Kupfer gelungen. Auch das reine Silber zeigt ähnliche Eigenthümlichkeiten und sehr feine Blätter dieses

[1]) Faraday, a. a. O. S.

Metalles gestatten dem violetten oder purpurfarbenen Lichte den Durchgang: schliesst man mehrere solche Blätter in eine Röhre ein und erhitzt man sie ziemlich stark, so werden sie so durchsichtig, dass man sich kaum vorstellen kann, dass diese Blätter aus Metall bestehen. Werden sie hierauf wieder zusammengepresst, so zeigt sich sofort der Metallglanz und die Purpurfarbe wieder; allein während vorher die Flamme eines Lichtes durch ungefähr vierzig derselben erblickt werden konnte, so genügten nach der Compression eines oder zwei vollständig, um die Strahlen zu absorbiren. Verflüchtigt man andere Metalle im Knallgasgebläse oder durch elektrische Entladungen, so hat sich gezeigt, dass die Metallhäutchen, welche man auf diese Weise erhielt, mehr oder weniger in derselben Weise wirkten. Platin und Palladium wirken gerade so wie Gold, sie polarisiren das Licht und drehen die Polarisationsebene in demselben Sinne, und auch Zinn, Blei, Aluminium, Silber, Kupfer u. a., sowie die Schwefelverbindungen des Antimon, Quecksilber, Kupfer u. s. w. haben ähnliche Resultate ergeben. Noch ist zu bemerken, dass man solche Metallhäutchen im reflectirten Lichte nur dann sehen kann, wenn sie eine gewisse Dicke besitzen; andernfalls sind sie unsichtbar.

Die Arbeiten Faraday's haben in neuerer Zeit eine Ergänzung durch die Untersuchungen Quincke's gefunden, welcher gezeigt hat, dass sich in den sehr dünnen Silberhäutchen, die auf chemischem Wege niedergeschlagen sind und keinem Drucke ausgesetzt wurden, das Licht schneller verbreitet als selbst im leeren Raume; sind sie dagegen gedrückt, so erleiden die Strahlen eine Verzögerung [1]).

Aus diesen Versuchen kann man diese beiden Folgerungen ziehen: 1) Das Licht dringt in den Metallen bis zu einer gewissen sehr geringen Tiefe ein, wo es sehr bald erlischt, und hierdurch findet Cauchy's Theorie volle Bestätigung. 2) Auf das Verlöschen des Lichtes hat der mechanische Stoss und die molecülare Beschaffenheit der Oberfläche sehr bedeutenden Einfluss. Allein diese Wirkung wird nicht blos dadurch erzielt, wie die Metalle bearbeitet und

[1]) S. Moigno, Mondes, 1. Oct. 1863. App. Die Formeln welche Cauchy aufgestellt hat, haben also für zusammengepresste Metalle durchaus Bestätigung gefunden; dagegen findet der andere Fall, den wir erwähnten, dass die Brechbarkeit einen andern Werth bekommt, vielleicht darin seine Erklärung, dass die Metalle, wenn sie nicht zusammengedrückt sind, das Licht etwas beschleunigen. S.

hergerichtet sind, denn auch die Metalle, welche auf chemischem Wege gefällt sind, wirken in ähnlicher Weise; im Allgemeinen jedoch müssen die Metalle auf das reflectirte Licht eine etwas verschiedene Wirkung ausüben, je nach der Art und Weise, wie sie hergerichtet sind.

Doch welches ist wohl der Grund dafür, dass der Druck solchen Einfluss haben kann? Wenn wir uns nicht täuschen, so möchten wir ihn in der besondern Art von Elasticität der metallischen Körper selbst suchen, indem dieselbe verhältnissmässig ziemlich unvollkommen ist, so dass ihre Grenzen leicht überschritten werden: tritt dieser letztere Fall ein, so hat die Elasticität nicht Kraft genug, um die Theilchen in ihre ursprüngliche Lage mit der Geschwindigkeit zurückzuführen, welche die Bewegung der Welle erfordert, weshalb letztere bald erlischt. Diese Erscheinung unterscheidet sich durchaus nicht von dem, was sich täglich im Grossen bei den mechanischen Operationen wiederholt: die Metalle unterscheiden sich gerade dadurch von anderen Körpern, dass sie eine gewisse Plasticität besitzen; sie haben in ihren Theilchen einen gewissen Grad von Geschmeidigkeit, welcher ihnen die höchst nützlichen Eigenschaften der Dehnsamkeit und der Zusammendrückbarkeit verleiht und sie geschickt macht, Eindrücke aufzunehmen und Modificationen jeglicher Art zu ermöglichen. Allein diese Modificationen halten selbst wieder die Theilchen zurück: denn ist die Grenze der Elasticität einmal überschritten, so können die Theilchen aus eigener Kraft nicht wieder in ihre vorige Lage zurückkehren. Ein dünnes Metallblättchen hat seine grösste natürliche Elasticität, wenn es erhitzt worden ist, und kann die Schwingungsbewegung weiter fortpflanzen; wird dasselbe dagegen zusammengedrückt, so hat es schon etwas an seiner Fähigkeit Schwingungen auszuführen eingebüsst, wenigstens für gewisse Vibrationen, und ist einmal die Elasticitätsgrenze überschritten, so kehren die Theilchen nicht vollständig in ihre Stellung zurück, sodass nun einige Schwingungen im Metall erlöschen und dasselbe wie ein farbiges Mittel wirkt. Wenn die Dicke noch grösser wird, so werden alle transversalen Bewegungen ausgelöscht, die lebendige Kraft aber wird hierbei nicht vernichtet, sondern erzeugt eine Bewegung in anderer Weise, wie wir sehen werden, wenn wir uns mit der Elektricität beschäftigen. Es scheint, als könnte man die Metalle, besonders wenn sie rein sind, ihrer Natur nach eher mit den weichen Körpern als mit den harten vergleichen: und es ist be-

kannt, dass man, um ihnen eine wirkliche Härte zu ertheilen, sie verschiedenen Processen, die ihre Cohäsion abändern, unterwerfen muss; oft auch muss man sie mit anderen Stoffen chemisch verbinden oder unter einander zu Legirungen vereinigen. Vergleicht man die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall in ihnen ausbreitet, so findet man dieselbe, ausgenommen beim Eisen und Stahl, bei ihnen weit geringer, als beim Glase [1]). Es scheint daher vollkommen gerechtfertigt, wenn man sagt, dass man die Metalle als Körper ansehen muss, deren Elasticität nicht stark entwickelt ist, dass sie

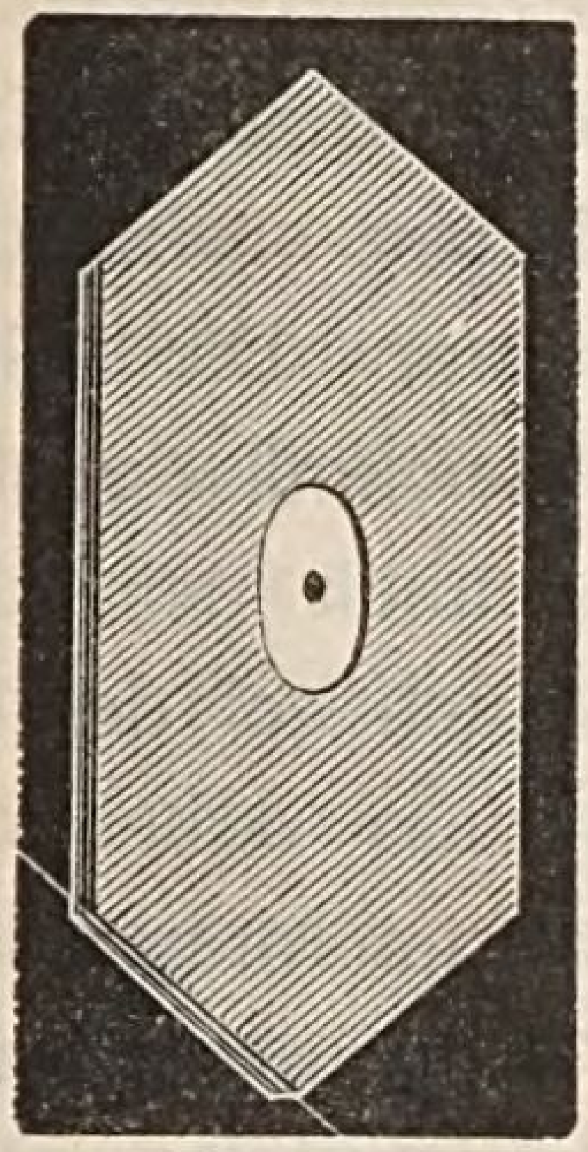


Fig. 19.



Fig. 20.

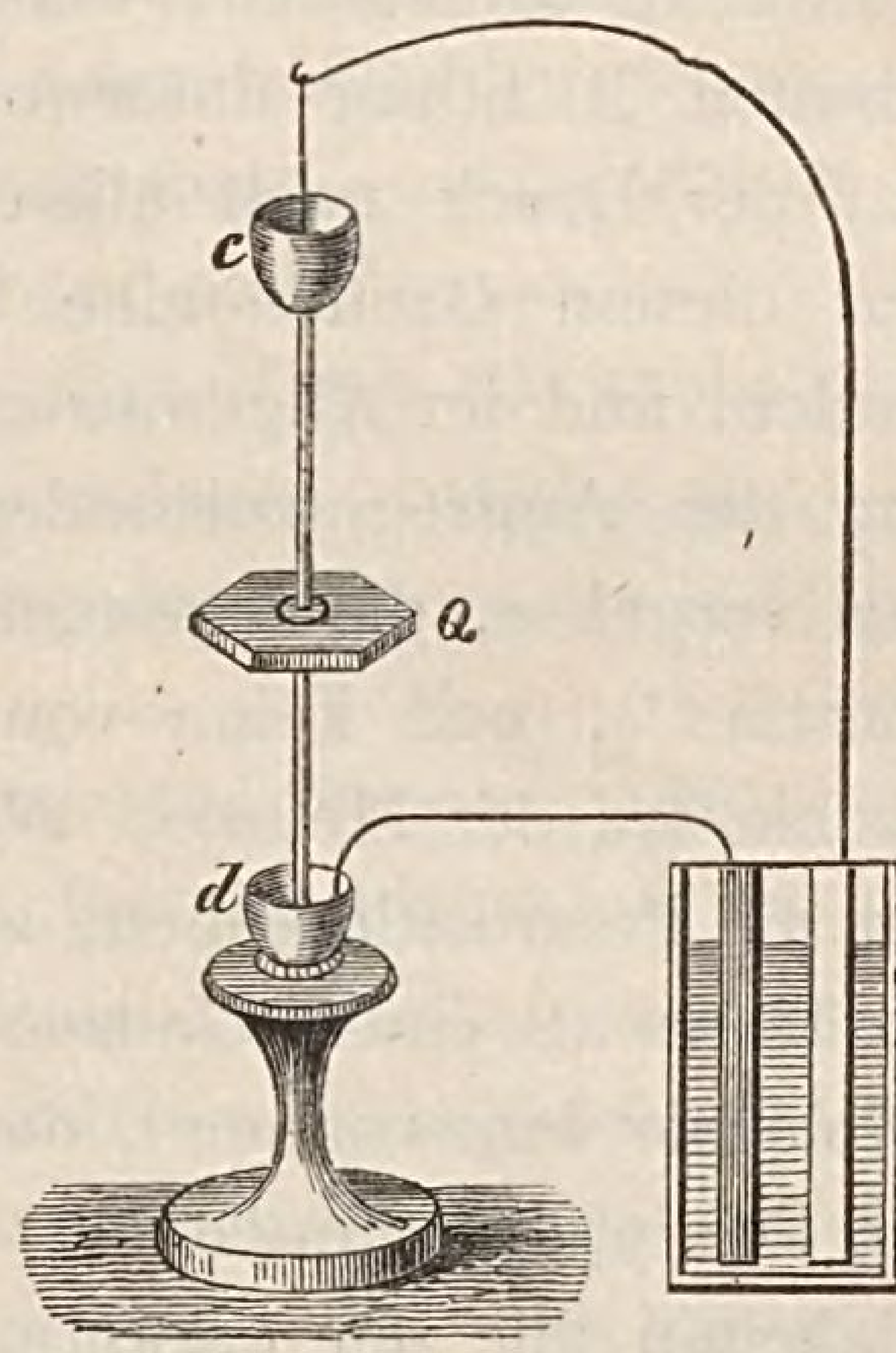


Fig. 21.

sich eher an solche Stoffe anreihen, wie Kork und die Körper, welche aus geschmeidiger Masse zusammengesetzt sind, von denen zwar einige bei gewöhnlichen mechanischen Eindrücken eine gewisse Elasticität zeigen, die aber alle die lebendige Kraft der Schwingungen in hohem Grade absorbiren, indem ihre Theilchen sich nur langsam in ihre vorige Lage zurückbegeben.

Diese Theorie findet eine gute Stütze in den Versuchen, welche Sénarmont über die Leitungsfähigkeit der Krystalle für die Wärme ausgeführt hat [2]). Nach diesem Naturforscher erscheinen die durch Er-

[1]) S. Daguin, Traité de Phys., t. I, p. 615. Eisen ist in der Regel nicht gerade sehr rein, Stahl aber ist ein zusammengesetzter Körper. S.

[2]) Die oben erwähnten Versuche hat Sénarmont (Annales de ph. et ch., III. série, t. XXI, p. 656) in folgender Weise ausgeführt. Schneidet man

wärmung gebildeten Ellipsen auf den Flächen, welche parallel zur Hauptaxe geschnitten sind, bei den sogenannten optisch negativen Krystallen (Turmalin, Doppelspath) in der Richtung der Hauptaxe verkürzt: dagegen verlängert bei den positiven Krystallen (Quarz, Eis u. a.); erstere aber absorbiren leichter den ordinären, letztere den extraordinären Strahl. Es wird also in der Regel diejenige Bewegung leichter absorbirt, welche in der Axe der geringeren Elasticität erfolgt. Eine Verminderung der Elasticität kann den Körper unfähig machen die Wellen in einer gegebenen Richtung auszubreiten.

Auch bei homogenen Körpern können die isothermen Linien die Form von Ellipsen annehmen, wenn die Körper einem Drucke in einer bestimmten Richtung unterworfen werden. Da sich in den Flüssigkeiten der Druck nach allen Seiten gleichmässig ausbreitet, so kann aus diesem Grunde eine Verschiedenheit der Absorption nicht stattfinden, und im Allgemeinen bleibt auch bei der einfachen Veränderung des Aggregatzustandes, ohne dass dabei chemische Aenderungen vorgehen, die sogenannte specifische Intensität der Refraction constant [1]), und keine von diesen Flüssigkeiten zeigt die Eigenthümlichkeiten der Metalle. Wenn einige derselben die Fähigkeit besitzen die Polarisationsebene zu drehen, so hat diese Fähigkeit nicht in der Masse als einem Ganzen ihren Sitz, sondern sie ist jedem einzelnen Molecüle innewohnend, denn sie zeigt sich in ihnen auch, wenn sie die Dampfform annehmen; ausserdem ist zu beachten, dass diese Flüssigkeiten alle der organischen Natur entstammen.

Wir kommen also schliesslich zu diesem Resultate: jede Thätigkeit, welche die Dichtigkeit der Materie und die Anord-

aus Bergkrystall zwei Platten, die eine parallel mit der Axe, die andere senkrecht zu derselben, durchbohrt man sie in ihrer Mitte und bedeckt man sie mit einer dünnen Schicht Wachs (Fig. 19 und 20), führt man dann durch die Durchbohrungen einen feinen Draht hindurch, den man mittels einer galvanischen Batterie B (Fig. 21) glühend macht: so schmilzt das Wachs rings um die Durchbohrungen und bildet ein Bläschen, dessen Grenze durch eine isothermische Linie gebildet wird. Wird die Platte abgekühlt, so kann man auch nachher noch unterscheiden, wie weit das Wachs geschmolzen war und kann die verschiedenen Dimensionen dieser Fläche messen. Man überzeugt sich durch diesen Versuch leicht, dass sich die Wärme in einem Krystall nach den verschiedenen Richtungen hin mit ungleicher Geschwindigkeit ausbreitet. S.

[1]) Moigno, Mondes, science pure, 23 Nov. 1863, p. 680. S.

nung ihrer Molecüle ändert, ändert zugleich auch die Fähigkeit Bewegungen in den verschiedenen Richtungen hindurch zu lassen; es kann daher der Fall eintreten, dass die Elasticität in gewissen Richtungen so gering wird, dass sie die Schwingungsbewegung nicht mehr weiter verbreiten kann, woraus die vollständige oder theilweise Undurchsichtigkeit der Körper einer bestimmten Classe zu erklären ist. Auch hier nehmen wir den Begriff der Elasticität wie früher, in seinem weitesten Sinne.

An dieser Stelle würde es vielleicht gut sein einen Vergleich zwischen den Eigenschaften der durchsichtigen Körper und der Metalle anzustellen: aus den Verschiedenheiten, die beide zeigen, wird die Wichtigkeit dieses Gegenstandes deutlicher ersichtlich sein, und dies wird uns zur Entschuldigung dienen, dass wir uns bei diesen Untersuchungen etwas lange aufgehalten haben.

1) Alle Metalle sind gute Leiter für die Elektricität und die Wärme; die durchsichtigen Körper dagegen sind Isolatoren der Elektricität, welche selbst elektrisch werden können, und die schlechtesten Leiter der Wärme.

2) In den Metallen giebt es eine Grenze, welche die Molecüle überschreiten können, ohne dass die Stetigkeit der Masse unterbrochen wird, über welche sie aber nicht wieder in ihre vorige Lage zurückkehren; diese Grenze ist ziemlich weit ausgedehnt, ausgenommen bei wenigen Körpern, wie beim Stahle, bei welchem sie durch besondere Einwirkungen verengert wird. Bei durchsichtigen Körpern ist die Grenze, innerhalb welcher sich die Molecüle verschieben lassen, sehr eng: werden die Theilchen gezwungen, dieselbe auch nur wenig zu überschreiten, so trennen sie sich leicht von einander und verursachen einen Bruch; daher ist ihre Elasticität im Allgemeinen zwar weniger ausgedehnt, innerhalb dieser Grenzen aber vollkommener, und daher ist es nicht möglich, diese Körper zu strecken oder zu schmieden.

3) Die Metalle sind undurchsichtig, ausgenommen wenn sie sehr dünn sind; die nicht metallischen Körper dagegen sind meistens durchscheinend, wenn sie nur rein sind und wenn die Molecüle in ihnen gleichmässig vertheilt sind. Wenn dennoch einige unter ihnen undurchsichtig erscheinen, so rührt das daher, dass sie auf gewisse Strahlen eine ähnliche Wirkung ausüben wie die Metalle, und wir werden im folgenden Artikel sehen, wie bei den Krystallen dieses Verhalten in der Verschiedenheit der Elasticität nach den verschie-

denen Richtungen hin seinen Grund hat. Der Hämatit (Rotheisenstein) und der aus dem Saflor (Carthamus tinctorius) gewonnene Farbstoff wirken auf manche Strahlen wie Metalle, auf andere wie durchsichtige Körper, woraus man schliessen muss, dass jene Absorption nicht von der chemischen Beschaffenheit der Körper abhängt, sondern von der Anordnung der Molecüle. Mit dieser Eigenschaft steht auch die andere im Zusammenhang, dass die Metalle bei der Reflexion das Licht in ziemlich breiten Ellipsen polarisiren, die durchsichtigen dagegen in ausserordentlich schmalen.

Aus diesen wenigen, aber sehr wesentlichen Vergleichspunkten geht hervor, dass die transversalen Schwingungen überall da verlöschen, wo eine andere Art von Bewegung sich ausbreiten kann. Ob der eine oder andere Fall eintritt, das hängt von der Anordnung der Molecüle ab, wie Cauchy durch mathematische Analysis gefunden hat: denn je nach der Anordnung der Theile kann ein und dieselbe Substanz durchsichtig oder undurchsichtig sein, und entsprechend auch für die Elektricität als Isolator oder Leiter dienen.

Hier drängen sich uns nun einige Fragen auf: nämlich erstens, in welche Art von Bewegungen sich wohl die absorbirten Lichtschwingungen verwandeln? Gehen sie vielleicht vollständig in Wärme über, d. h. in eine Schwingungsbewegung der wägbaren Materie, oder verwandeln sie sich in irgend welche andere Art von Bewegung? Vor Allem ist es sicher, dass die Bewegung, die dem Mittel durch das Licht mitgetheilt wird, nicht vernichtet wird, und wir können ja täglich beobachten, wie stark sich die Metalle in der Sonne erhitzen, während bei den durchsichtigen Körpern kaum eine Temperaturerhöhung wahrzunehmen ist. Später werden wir sehen, dass in den Metallen noch eine andere Art von innerer Bewegung vor sich geht, welche durchaus nicht vernachlässigt werden darf: für jetzt aber dürfen wir auf diesen Punkt nicht weiter eingehen um nicht Gegenstände vorweg zu nehmen, welche wir erst in einem andern Theile behandeln wollen.

An zweiter Stelle können wir weiter fragen, welches wohl der Grund ist, dass die Eigenschaften der Metalle von denen der durchsichtigen Körper so bedeutend abweichen? Hierauf können wir nur durch Conjecturen antworten, und es möge uns daher nicht versagt sein, hier eine Hypothese auszusprechen, auf welche der Leser so viel Gewicht legen mag, als ihm gutdünkt. Durch krystallographische Untersuchungen ist es wahrscheinlich geworden, dass die Formen der Metalle sich immer dem Würfel sehr nähern: sollte dies nicht

vielleicht ein Zeichen sein, dass ihre ursprünglichen Molecüle eine Gestalt besitzen, die von der Kugelform wenig abweicht, oder allgemein ausgedrückt, dass ihre Trägheitsmomente in Bezug auf die verschiedenen Durchmesser gleich sind oder nur wenig von einander abweichen? In diesem Falle würden die Molecüle im Innern der Massen eine grosse Beweglichkeit besitzen und leicht jedem Anstosse Folge leisten: sie würden daher in dem Augenblicke, wo sie eine neue Lage einnehmen, die sie mit grösserer oder geringerer Beharrlichkeit beibehalten, die von Aussen auf sie einwirkende lebendige Kraft leicht absorbiren. Dagegen besitzen die durchsichtigen Körper, welche meistens zusammengesetzt sind, ziemlich verschiedene Trägheitsaxen, und deshalb können sie auch durch eine Bewegung, welche auf sie einwirkt, weniger leicht aus ihrer Lage gebracht werden, und es wird sich diese Bewegungsform mit grösserer Freiheit um sie herum fortpflanzen. Aus diesem Verhalten kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit folgern, dass bei dem Durchgange des Lichtes die Bewegung eher in Schwingungen der Axen besteht als in einer fortschreitenden Bewegung der Schwerpunkte der Aetheratome [1]). In ähnlicher Weise sehen wir dass ein nachgiebiger und weicher Körper die Wellen im Wasser beruhigt, während ein harter von ihnen umflossen wird, sodass sie sich hinter ihm weiter ausbreiten.

Zu den Ursachen der Absorption, welche wir am Anfange dieses Kapitels aufzählten, kommt also noch die unvollkommene Elasticität der Metalle hinzu, welche die Ausbreitung der transversalen Schwingungen in ihnen hindert.

KAPITEL IX.

Ausbreitung des Lichtes in festen Körpern von ungleicher Elasticität: doppelte Brechung.

Bei der Erklärung der optischen Erscheinungen erwächst die grösste Schwierigkeit daraus, dass wir uns keine rechte Vorstellung davon machen können, wie der Aether seinem Wesen nach be-

[1]) Es lassen sich hierzu wohl einige Ausnahme auffinden wie z. B. das Chlornatrium, der Alaun und der Diamant, welche gleichaxig sind. Hierzu bemerke ich, dass ich keinen Lehrsatz aufstellen will, sondern nur eine Hypothese: ausserdem ist zu bemerken, dass die genannten, mit Ausnahme des Diamant, zusammengesetzte Körper sind, und diese lassen sich immer viel schwerer in Schwingungen versetzen, ohne dass sie sich dabei zugleich zersetzen. S.

schaffen ist; alle Begriffe, die wir uns über ihn verschaffen wollen, müssen wir auf indirectem Wege aus den Erscheinungen selbst, für die wir eine Erklärung suchen, ableiten. Daher ein beständiges Schliessen aus Hypothesen, deren Principien erst aus den Folgerungen festgestellt werden müssen: und da es schwer hält einzusehen, dass ein und dieselbe Thatsache nicht auf mehreren Wegen eintreten könnte, so bleibt bei der Erklärung immer eine gewisse Dunkelheit. Diese Unsicherheit, welche in allen diesen Fragen herrscht, macht sich besonders bei dem Gegenstande bemerklich, den wir im vorliegenden Kapitel behandeln wollen: bei ihm sind die Wirkungen der wägbaren und der unwägbaren Agentien so eng mit einander verbunden, dass viele Physiker gemeint haben, dass sich die beiden Strahlen, in welche sich das Licht in gewissen krystallisirten Körpern theilt, oder wenigstens der eine derselben, nur durch Vermittelung der wägbaren Materie fortpflanzen. Die bisherigen Untersuchungen haben uns dagegen überzeugt, dass, wenn die wägbare Materie auch auf die Abänderung der Wellenbewegung von Einfluss ist, sie doch nicht als Träger derselben anzusehen ist, sondern dass sie nur einen Einfluss auf sie ausübt, der je nach ihrer Dichtigkeit und Structur von verschiedener Grösse ist.

Bisher haben wir nur von Mitteln gesprochen, deren Dichtigkeit nach allen Seiten hin dieselbe ist: wir müssen jetzt zu denjenigen Mitteln übergehen, deren Elasticität nach den drei Dimensionen verschiedene Werthe besitzt. Um in dieser Beziehung klare Begriffe zu erhalten, müssen wir zuvor erwähnen, was man unter Elasticität und was man unter einem homogenen Körper versteht: wir folgen hierbei den Erörterungen, welche Lamé in dem schon mehrfach erwähnten Werke über die mathematische Theorie der Elasticität fester Körper angestellt hat.

Betreffs der Elasticität wiederholen wir, was wir schon früher erwähnten, dass wir diesen Begriff möglichst allgemein fassen und ihn auf alle Kräfte ausdehnen, welche auf die Theilchen der Materie wirken. Unter einem homogenen Körper verstehen wir in dieser Theorie einen solchen, in welchem eine gerade Linie von gegebener Länge L und von bestimmter Richtung immer dieselbe Zahl n von molecularen Systemen durchschneidet, an welche Stelle des Körpers sie auch verlegt sei, wenn sie nur immer parallel zu ihrer ursprünglichen Richtung verschoben wird. Das Verhältniss $\frac{L}{n}$ kann seinen

Werth mit der Richtung ändern, für parallele Linien aber muss es ein constantes sein. Man kann auf mathematischem Wege beweisen, dass man in einem solchen Körper immer drei Richtungen auffinden kann, welche rechtwinklig auf einander sind, und welche bezüglich der grössten, der mittleren und der kleinsten Elasticität entsprechen, wie auch im Uebrigen die Kräfte, durch welche das Gleichgewicht der Molecüle bedingt wird, beschaffen sein mögen. Giebt man den drei in diese Richtungen fallenden Geraden Längen, die mit den Werthen der Elasticität proportional sind, und construirt man um dieselben als Axen ein Ellipsoid, so ist jeder beliebige Durchmesser desselben ein Mass für die Elasticität in der von ihm angegebenen Richtung: die auf solche Weise gefundene Fläche heisst Elasticitätsfläche.

Infolge der Verschiedenheit der Elasticität müssen sich für die Ausbreitung der Wellenbewegung einige Sätze ergeben, welche wir jetzt kurz zusammenstellen wollen.

1) Geht von einem einzelnen Centrum eine Bewegung des Aethers aus, so verbreitet sich dieselbe, wie erwähnt, in der Weise, dass die Molecüle senkrecht zu der Richtung des Strahles schwingen; hierbei löst sich die Schwingungsbewegung in zwei Componenten auf, welche rechtwinklig auf einander sind.

2) Diese beiden Bewegungen pflanzen sich mit verschiedener Geschwindigkeit in den verschiedenen Richtungen fort, sodass sie sich über verschiedene Schichten der Wellenoberfläche verbreiten.

3) Jedem einzelnen dieser beiden Systeme von elementaren Wellenflächen entspricht eine besondere einhüllende Ebene, sodass sich jeder eindringende Strahl in zwei Strahlen, welche aus dem Krystall wieder austreten, zerlegt, wie wir weiter unten ausführlicher entwickeln werden.

4) Die beiden Strahlen sind rechtwinklig gegen einander polarisirt, und zwar fällt bei den optisch einaxigen Krystallen die Polarisationsebene des ordinären Strahles in die Richtung des Hauptschnittes, die des extraordinären in eine auf ihm senkrechte Ebene.

5) Prüft man die Erscheinungen mit Rücksicht auf die Zeit, so sieht man, dass die beiden Wellenbewegungen an demselben Punkte des Krystalles zu verschiedenen Zeiten anlangen: zunächst diejenige, die sich am schnellsten ausbreitet, dann die langsamere, ausgenommen an denjenigen Punkten, wo sich die beiden elementaren Wellen in eine verschmelzen.

Diese Folgerungen hat man zuerst durch mathematische Entwickelung aufgefunden, sie haben sich aber durchaus auf experimentellem Wege bestätigen lassen: unsere Aufgabe muss es sein, sie auch denjenigen möglichst verständlich zu machen, denen die höhere Mathematik nicht zugänglich ist. Vorausschicken wollen wir, dass die Ausbreitung des Lichtes in doppeltbrechenden Mitteln nur einen speciellen Fall aus der allgemeinen Theorie der Wellenbewegungen in Mitteln von ungleicher Elasticität bildet, und dass es hier ebenso, wie in der Mechanik des Himmels, unmöglich ist Entdeckungen der Analysis blos in Worten zu entwickeln, dass man sich daher mit der Mittheilung der Endresultate begnügen muss, gerade wie bei den Kräften, welche die Bewegungen der Sterne beherrschen. Gleichwohl wollen wir versuchen nach besten Kräften das Verständniss dieser Erscheinungen anzubahnen, ohne dass wir uns schmeicheln, dass uns der Versuch vollständig gelingen könnte.

Um uns zunächst eine Vorstellung von einem Mittel zu verschaffen, das nach drei Richtungen hin verschiedene Elasticität besitzt, wollen wir uns einen Würfel aus Holz denken, der nach der Richtung seiner Fasern geschnitten ist: in diesem Körper wird die Elasticität in der Längsrichtung einen andern Werth besitzen als in der Richtung des Querschnittes, und auch in der letzteren Ebene wird sie in der Richtung, die mit den Jahresringen parallel ist, eine andere Grösse haben, als in der Richtung, die senkrecht auf denselben steht. Wird daher in einem solchen Körper eine Schwingungsbewegung erregt, so kann dieselbe sich nicht nach allen Seiten hin mit gleicher Geschwindigkeit ausbreiten: genau anzugeben, wie die Ausbreitung erfolgt, ist freilich nur mit mathematischen Mitteln möglich, allein es ist auch ohne dieselben leicht einzusehen, dass sich in den verschiedenen Richtungen Unterschiede in den Ausbreitungsgeschwindigkeiten ergeben müssen, und dass daher die Wellenoberfläche nach den verschiedenen Seiten hin nicht mehr eine einheitliche sein kann. Dies wird im Speciellen auch bei den transversalen Schwingungen eintreten, bei welchen man nur die Elasticität in zwei Richtungen gleichzeitig zu beachten hat, während die dritte Componente der Elasticität von keinem Einflusse mehr ist.

Um etwas deutlicher zu sprechen wollen wir annehmen, dass sich z. B. die Schwingungen in einer horizontalen Ebene, parallel mit einer Linie AA′ weiter verbreiten, und dass die Schwingungen der Molecüle selbst ebenfalls in einer horizontalen Ebene und, da es

sich um transversale Schwingungen handelt, senkrecht zur Richtung der Linie AA' erfolgen. In diesem Falle ist nur die Elasticität in zwei Richtungen zu beachten: einmal in der Richtung der Linie AA' selbst, in welcher die Uebertragung der Bewegung von einem zum andern Molecüle erfolgt, dann aber auch in der auf dieser Linie senkrechten Richtung, welche in dieselbe Horizontalebene fällt, weil dies die Richtung ist, in der sich jedes Theilchen beim Schwingen bewegt. Der Zustand der Elasticität in der Richtung, die auf der horizontalen Ebene senkrecht ist, ist von keinem Einfluss, vorausgesetzt, dass die Beschaffenheit des Körpers eine solche ist, dass sich in ihm jede Bewegung unabhängig von den anderen Bewegungen ausbreiten kann. Etwas Aehnliches lässt sich für verticale Bewegungen zeigen, bei denen nur die Elasticität in einer bestimmten horizontalen Richtung und in der verticalen Längsrichtung von Einfluss ist. Ueberhaupt wird in jedem Falle nur die Elasticität in der Richtung zu beachten sein, in welcher sich die Molecüle beim Schwingen bewegen, sowie in derjenigen, in welcher sich der Strahl ausbreitet.

Hieraus folgt, dass in den Mitteln mit drei ungleichen Elasticitätsaxen die Schwingungen sich im Allgemeinen in zwei senkrechten Ebenen mit verschiedener Geschwindigkeit ausbreiten müssen, wenn sie unter einander bereits rechtwinklig waren. Es sind hierbei nun noch zwei weitere Fälle zu beachten: 1) dass der Strahl längs einer Elasticitätsaxe, und 2) dass er in schiefer Richtung den Körper durchläuft. Pflanzt sich der Strahl längs der einen Axe fort, so werden sich die Schwingungen in zwei Componenten zerlegen, die mit den beiden

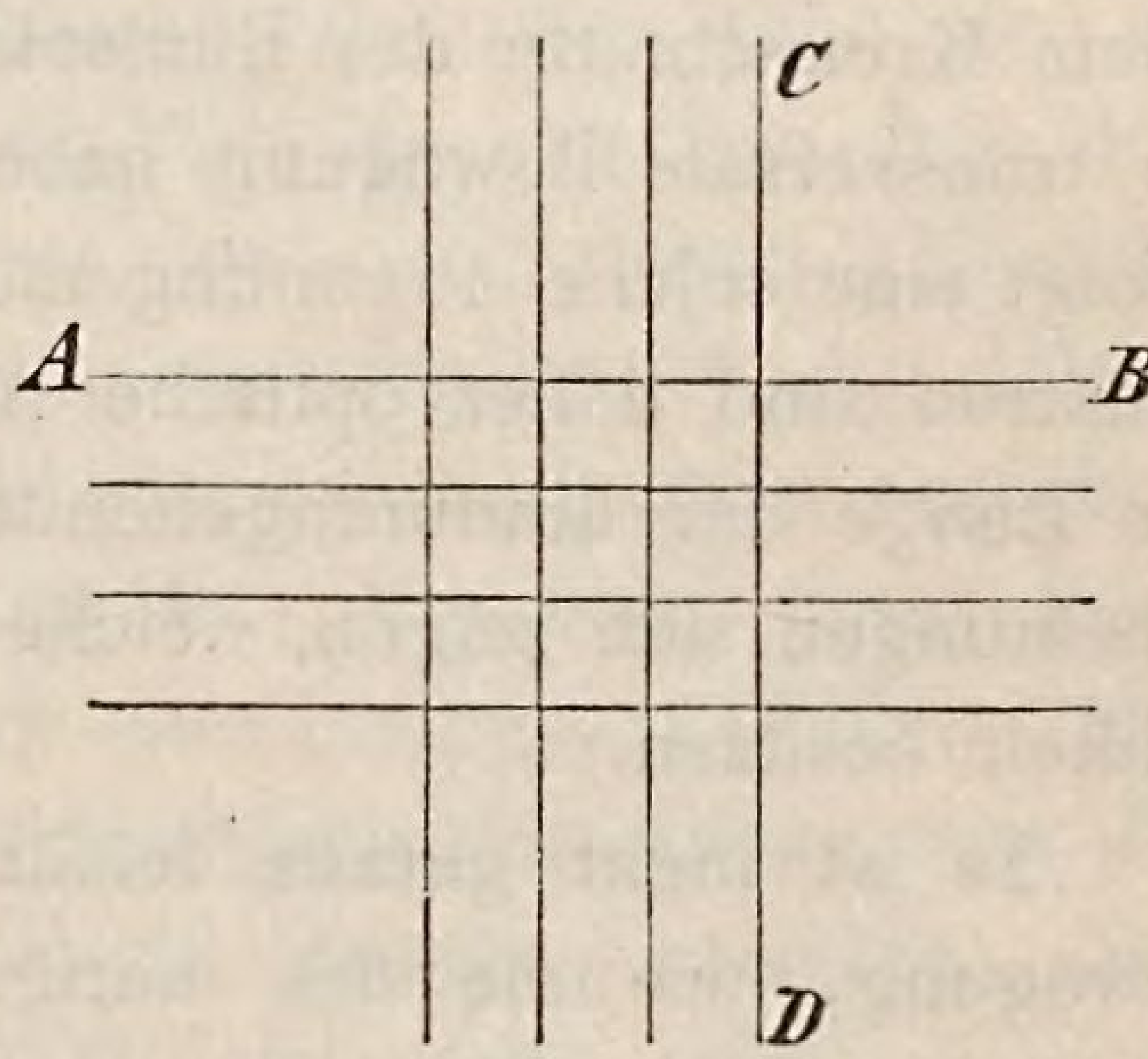


Fig. 22.

anderen Axen, also z. B. den Linien AB und CD (Fig. 22) parallel sind. Das erste System von Schwingungen AB wird sich fortpflanzen entsprechend der Beweglichkeit der Theilchen in einer Ebene, welche auf der Ebene der Figur senkrecht und mit AB parallel ist; dieses System von Schwingungen wird von denen, die parallel mit CD erfolgen, durchaus nicht gestört werden: beide Systeme breiten sich unabhängig von einander mit verschiedener Geschwindigkeit aus,

sodass ein Punkt, der sich in einiger Entfernung vom Schwingungsmittelpunkte befindet, nach einander zwei verschiedene Erschütterungen erhält, die eine durch das System AB, die andere durch das System CD. Da in diesem Falle die Ebene, welche die Wellenoberflächen berührt, auf der Axe senkrecht ist, so wird sich der Strahl scheinbar nicht in zwei Strahlen theilen, wenn er durch eine Fläche austritt, welche mit der Eintrittsfläche parallel ist; ist dagegen erstere Fläche gegen die andere geneigt, so wird sich der Unterschied in der Geschwindigkeit bemerklich machen und der Strahl wird sich theilen, sodass man annehmen muss, dass das Zusammengehen der beiden Strahlen nur ein scheinbares war.

Verbreitet sich der Strahl in schräger Richtung gegen die Axe, so wird die eine der Bewegungen parallel zur Axe des geringsten Widerstandes der Molecüle erfolgen, die andere aber wird zu ihr eine senkrechte Richtung haben, und jede dieser beiden Bewegungen breitet sich unabhängig von der andern aus; da aber die Ebenen, welche die Ellipsoide berühren, gegen die Richtung des Durchmessers, nach welcher die Ausbreitung der Bewegung erfolgt, geneigt sind, so bilden auch die berührenden Ebenen beider Wellensysteme unter sich einen Winkel und die Strahlen trennen sich; nur in dem einen Falle, wenn die Richtung des Strahles senkrecht zu einem Kreisschnitte des Ellipsoides ist, in welchem die Elasticität für die transversale Bewegung nach allen Seiten hin gleiche Grösse hat, erfolgt eine solche Trennung nicht: die Senkrechten auf diesen Kreisschnitten sind daher optische Axen. Die Lage dieser Axen ist von der Länge der hindurchgehenden Wellen abhängig, sodass hier Erscheinungen sich zeigen, welche mit der Dispersion der Farben Aehnlichkeit besitzen.

Es ist nicht gerade leicht zu begreifen, wie sich eine einzige Bewegung, wie die des natürlichen Lichtes, in der angegebenen Weise in zwei vollständig gesonderte Bewegungen theilen kann, sobald der Strahl in einen Krystall eintritt [1]). Um diese Schwierigkeit

[1]) Bestände das Licht allein in Schwingungsbewegungen der Axen der Aetheratome um ihre Rotationsmittelpunkte, so liesse sich die Sache leichter verstehen denn in diesem Falle glichen die Atome einer Reihe von Gyroskopen, deren Axen gleichgerichtet sind; nimmt man nun an, dass das eine derselben in der Richtung seines Aequators einen Stoss erhält, so wird seine Axe in eine Schwingungsbewegung gerathen, welche auf der Richtung des Stosses senkrecht ist. Bei dieser pendelartigen Bewegung wird es auf

zu heben genügt es an einige Erscheinungen aus der Lehre vom Schall zu erinnern, die sich leichter beobachten lassen und die beim Schwingen solcher Körper 'eintreten, in welchen die Elasticität nach drei Axen verschieden ist. Streicht man mit einem Violinbogen einen Holzstab, dessen Querschnitt ein Rechteck ist, so geräth derselbe sofort in Schwingungen in der Richtung, nach welcher der Widerstand am geringsten ist: aber nur mit Mühe gelingt es auch nach der anderen Richtung hin Schwingungen zu erzeugen, selbst wenn sich der Querschnitt der Form eines Quadrates nähert; und in diesem Falle zeigen sich auf der Oberfläche des Stabes ziemlich verwickelte spiralförmige Knotenlinien. Wendet man dagegen an Stelle eines einzigen Stabes, in welchem sich die beiden Bewegungen vermöge der innigen Verbindung der Molecüle gegenseitig hindern, zwei Stäbe von sehr geringer Dicke an, die nach Richtungen geschnitten sind, welche senkrecht auf einander stehen, und befestigt man diese an derselben Stelle an dem Stabe, der unmittelbar mit dem Bogen gestrichen wird, sodass sie von einander vollständig frei sind, so wird jeder dieser Stäbe für sich allein schwingen und den Ton geben, der ihm eigenthümlich ist. Beständen nun diese beiden Stäbe ausserdem auch noch aus verschiedenen Stoffen, so wird der eine schneller als der andere die Bewegung bis auf eine gewisse Entfernung fortleiten. Etwas Aehnliches erfolgt nun, wenn eine einzige Schwingungsbewegung in den Aether, der zwischen den Molecülen eines Krystalles liegt, eindringt, da auch dessen Elasticität nach den verschiedenen Richtungen hin verschieden ist: nur können seine Molecüle leicht ihre Lage unabhängig von einander verändern, da er eine sehr bewegliche Flüssigkeit ist. Die eine dieser Bewegungen wird immer in der Richtung des geringsten Widerstandes, d. h. in einer durch die entsprechende Axe gelegten Ebene oder dem Hauptschnitte, die andere aber senkrecht dagegen erfolgen. Dass letztere Richtung zur andern rechtwinklig ist, folgt nicht allein aus

ein zweites Atom treffen, das nun seinerseits in eine Bewegung geräth, welche gegen die des ersten wieder rechtwinklig und also mit dem ursprünglichen Stosse parallel ist; und so werden die Richtungen beständig mit einander abwechseln. Auf diese Weise erhält man wirklich nur zwei Arten von Oscillationen, von denen die eine auf der andern senkrecht ist, und welche sich mit verschiedener Geschwindigkeit ausbreiten werden je nach den Druckkräften, die in dem Mittel selbst herrschen, und nach dem Abstande der Atome in den verschiedenen Richtungen. S.

der theoretischen Möglichkeit eine Bewegung in zwei andere zu zerlegen, die auf einander senkrecht stehen, sondern es besteht dafür auch der physikalische Grund, dass auf diese Weise die Bewegung in der einen Hauptrichtung der Elasticität durch die andere Bewegung nicht beeinflusst wird.

Handelt es sich darum die Richtung der Strahlen zu bestimmen, so muss man bei der doppelten Brechung wohl die Fläche, auf welcher sich jeder einzelne elementare Impuls ausbreitet, von der umhüllenden Wellenoberfläche unterscheiden, indem die Richtung, in der sich der Lichtstrahl ausbreitet, nur von der letzteren bestimmt wird. Der elementare Impuls breitet sich auf einer Oberfläche aus, deren Beschaffenheit nur auf mathematischem Wege bestimmt werden kann: sie ist eine Fläche vierten Grades mit zwei Schalen, welche sich aber so durchschneiden, dass auf ihnen gewisse ausgezeichnete Punkte, sogenannte Nabelpunkte, entstehen, an denen die Flächen in ähnlicher Weise in ihr Inneres hineingehen, wie die Matratzen an den Stellen, wo sie durchnäht sind. Was durch analytische Entwickelung gefunden wurde, das ist durch den Versuch bestätigt worden, indem nachgewiesen werden konnte, dass in der Richtung, die von der Theorie angezeigt war, die eigenthümlichen Erscheinungen der durch Lloyd entdeckten conischen Refraction eintreten, welche durch jene Nabelpunkte im Innern der Krystalle hervorgerufen werden: und diese experimentelle Bestätigung jener theoretischen Schlüsse bildet einen der glänzendsten Beweise für die Richtigkeit der Undulationstheorie.

Wenn die Elasticitätsfläche ein Rotationsellipsoid ist, das durch Umdrehung einer Ellipse um die eine Axe entsteht, so reducirt sich die Wellenoberfläche auf eine Kugel und ein Rotationsellipsoid, wie dies bei den einaxigen Krystallen, beim Doppelspath, beim Eise u. a. der Fall ist. Das Ellipsoid kann nach seiner Hauptaxe verkürzt und verlängert sein, und hierdurch unterscheiden sich die optisch negativen und positiven Krystalle. Das Elasticitätsellipsoid lässt sich durch die isothermischen Linien und durch die Knotenlinien auf schwingenden Krystallplatten zur Anschauung bringen.

Die Richtung, in welcher sich ein Lichtstrahl in einem solchen Krystalle fortpflanzt, lässt sich mit Hilfe der bekannten Construction, die von Huyghens herrührt, bestimmen, wenn man immer jeden Punkt der vorhergehenden Wellenoberfläche als Erschütterungsmittel-

punkt für die nächstfolgende Wellenoberfläche ansieht (vgl. Fig. 15), nur ist an Stelle der Kugeln, wie sie bei nicht krystallisirten Mitteln anzuwenden sind, die eine oder andere der beiden partiellen Flächen, aus denen die Wellenoberfläche besteht, zu setzen: construirt man zu diesen Flächen die einhüllende Berührungsfläche und errichtet man auf derselben eine Senkrechte, so giebt diese die Richtung des Strahles an. Diese Construction ist an jedem Punkte des Krystalles in derselben Weise auszuführen: denn nach der Definition, die wir von der Homogenität jener Körper gegeben haben, ist die Axe nicht als eine einzige Linie, sondern als eine Richtung aufzufassen, und deshalb kann man sich an jedem Punkte ein Ellipsoid vorstellen, das so beschaffen ist, dass durch dasselbe die Elasticität des Mittels dargestellt wird, während sein Mittelpunkt zugleich der Mittelpunkt der Wellenoberfläche ist.

Da wir bei dieser kurzen und unvollständigen Darstellung eines der schwierigsten Gegenstände die analytischen Hilfsmittel vollständig unbenutzt gelassen haben, so war es nicht anders möglich, als dass noch mancherlei Unklarheiten zurückblieben: vielleicht kann aber doch unsere Auseinandersetzung über die Art, wie sich die Bewegungen in dreiaxigen Mitteln ausbreiten, einigermassen Ersatz für die schweren Entwickelungen der Mathematiker bieten, welche aus jenen Principien mittels der Analysis alle Erscheinungen der doppelten Brechung zu erklären vermochten. Wenn sich einige einzelne Punkte bis jetzt noch nicht vollständig dieser Theorie einfügen wollen und wenn dadurch noch einige Zweifel erwachsen, so betrifft dies doch nur Gegenstände von untergeordneter Bedeutung, und die Zweifel sind durchaus nicht so schwerwiegend, dass dadurch die allgemeinen Principien der Theorie erschüttert werden könnten.

Das Ziel, welches wir bei der Auseinandersetzung dieses Gegenstandes verfolgten, war kein anderes, als dass wir zeigen wollten, auf welchem Wege man die Erklärung dieser Erscheinungen gefunden hat: dieselben lassen sich alle auf das Princip zurückführen, dass sich die Elasticität an allen Punkten durch ein Ellipsoid darstellen lässt und dass damit die Zahl der molecularen Systeme, welche der Strahl in einer bestimmten Richtung antrifft, eine fest bestimmte ist und sich nicht ändert, wenn der Strahl parallel zu seiner vorigen Richtung verschoben wird. Dass eine solche Vertheilung der Masse in den festen Körpern dadurch herbeigeführt wird, dass sich die Axen, um welche die Molecüle rotiren, alle in

eine bestimmte Richtung einstellen, lässt sich leicht begreifen, und ebenso sieht man, dass eine solche Orientirung der Axen als Folge von Stössen oder eines beständig wirkenden Druckes leicht eintreten kann, wenn die Molecüle in einem gemeinsamen Fluidum schwimmen. Man kann sogar mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, dass auch die Aetheratome durch ähnliche Einflüsse orientirt sind, doch ist dies nicht unbedingt nothwendig: schon die Orientirung der wägbaren Molecüle wird den Aether in eine entsprechende Anordnung versetzen und mithin genügt sie vollständig zur Erklärung der verschiedenen Geschwindigkeit in den verschiedenen Richtungen. Dort, wo die wägbare Materie am dichtesten zusammengedrängt ist, wird die Geschwindigkeit am geringsten sein; denn dort wird der Aether die geringste Freiheit und Beweglichkeit besitzen, da die Trägheit des Mittels wachsen muss, wenn die Zahl der wägbaren Atome grösser wird, die innerhalb einer Linie von bestimmter Länge in ihm schwimmen.

Wollten wir die noch sehr oberflächliche Auseinandersetzung über die Ausbreitung des Lichtes im Innern der Körper vervollständigen, so wären noch manche Dinge zu besprechen: wir müssen betreffs derselben aber auf die Specialwerke verweisen, da durch ihre Erwähnung unser Buch den Charakter der Allgemeinheit verlieren würde. Auch wollen wir durchaus nicht leugnen, dass das Problem ein ziemlich verwickeltes ist und dass noch manche Schwierigkeiten zu überwinden sind: allein die letzteren entspringen meistens aus der Unvollkommenheit der Analysis, welche noch nicht im Stande ist, alle beobachteten Erscheinungen zu umspannen. Der Ueberblick über die bisherigen Leistungen in der Wissenschaft, aus dem hervorgeht, welche bedeutenden Lücken bereits ausgefüllt sind, berechtigt wohl zu der Hoffnung, dass die wenigen, welche noch verbleiben, auch bald verschwinden werden. Wenn wir überdem beachten, dass durch die Theorie, welche den Aether ausschliesst, durchaus keine genügende Erklärung für diesen ganzen grossen Zweig der Optik gegeben werden konnte, ja dass es nicht einmal möglich war durch sie eine solche Erklärung in einigermassen vernünftiger Weise auch nur zu versuchen, so sehen wir, in welch hohem Grade die Existenz eines solchen allgemein verbreiteten Fluidum in diesen Erscheinungen ihre Bestätigung findet. Gleichzeitig haben wir auch gesehen, dass die Dichtigkeit des Aethers aufs Engste mit der Anwesenheit wägbarer Materie verknüpft ist

und dass sich letztere durchaus nicht ohne ihn denken lässt: dass aber andererseits dieselbe bei den Erscheinungen mitwirkt und dass nicht alle Wirkung dem Aether allein zuzuschreiben ist.

KAPITEL X.

Allgemeine Schlussbemerkungen zum zweiten Buche.

Bei unseren Untersuchungen über das Licht haben wir immer das Ziel verfolgt, das Wesen der Kraft zu ergründen, welche nicht allein dazu dient uns durch Vermittelung des Gesichtssinnes mit der ganzen übrigen Schöpfung in Verbindung zu setzen, sondern welche auch allenthalben in der Form von strahlender Wärme das Leben erweckt und durch ihre chemische Thätigkeit eine beständige Wandlung der Stoffe verursacht. Durch die Thatsachen ist es unwiderleglich klar geworden, dass diese drei Vorgänge nur Wirkungen einer einzigen Kraft sind, die sich auf eine Art von Bewegung einer gewissen Substanz zurückführen lässt. Als wir nun die Erscheinungen etwas eingehender prüften, da zeigte sich uns, dass wir den Molecülen eine oscillirende Bewegung zuschreiben mussten ähnlich derjenigen, welche in elastischen Mitteln erfolgt, wenn wir den letzteren Begriff in seinem weitesten Sinne fassen. Weiter haben wir uns die Frage vorgelegt, ob es wohl die wägbare Materie selbst sei, durch deren Vermittelung sich diese Schwingungen ausbreiten, haben uns aber überzeugt, dass eine solche Hypothese sich nicht halten lässt: deshalb sind wir zu dem Schlusse gelangt, dass ausser jener noch ein unwägbares Mittel existiren muss, welches die Ausbreitung des Lichtes und überhaupt der Strahlungen bewirkt und welches nicht allein durch den Raum, sondern auch durch das Innere aller Körper verbreitet ist.

Durch den Nachweis der Existenz eines solchen Mittels lässt sich eine neue Theorie begründen, welche sich in ausserordentlich vielen Fällen als höchst anwendbar zeigt und durch welche die Erklärung vieler Thatsachen betreffs der Beziehungen zwischen den Bewegungen der wägbaren Materie und des Aethers ermöglicht wurde. Viele solche Thatsachen hat man bereits in dieser Weise erklärt, bei anderen ahnt man mehr den Zusammenhang, als dass man ihn deutlich erkennen oder streng nachweisen könnte.

Genügende Erklärung haben bisher diejenigen Bewegungen ge-

funden, welche sich auf die sehr kleinen Schwingungen jenes Mittels beziehen und die Grenze seiner Elasticität nicht überschreiten: allein dieselben umspannen durchaus nicht das ganze Gebiet der Wirkungen, welche von jenem Fluidum abhängen, und welche Schwierigkeit bietet sogar schon dieser Theil dem Verständnisse! Doch erinnern wir uns, welche Mühe nur das Problem der Bewegung der Himmelskörper, das doch unendlich einfacher ist, der Mechanik bereitet, so wird es uns nicht mehr Wunder nehmen, dass es eine sehr schwierige Aufgabe ist, in jedem einzelnen Falle die beobachteten Thatsachen mit der analytischen Formel in Einklang zu bringen. So wie wir in der Mechanik des Himmels immer die Störungen in Rechnung zu ziehen haben, ebenso, ja in noch höherem Grade, giebt es auch in der Mechanik der Molecüle, besonders in dem jetzt behandelten Theile, eine Menge von Störungen. Hierher rechnen wir z. B. die Erscheinungen der Dispersion der Farben, die Veränderung der Lagen der optischen Axen in den Krystallen nach der Länge der Wellen, die Unsicherheit, die noch über die Bewegung der Molecüle im Verhältniss zur Ausbreitungsrichtung des Strahles besteht.[1]) So wie aber jene Störungen kein Hinderniss für die Annahme der Schwerkraft bildeten, so können auch diese Unsicherheiten uns nicht hindern, die Existenz des Aethers anzunehmen.

Wir haben in diesem Buche unwiderleglich feststehende Lehrsätze angeführt, andererseits aber auch viele Conjecturen, die wir durchaus nicht für unfehlbar ausgeben wollen, und es ist daher wohl zu beachten, dass beide nicht mit einander verwechselt werden. Gewiss ist es, dass das Licht sich durch Schwingungen in einem

[1]) S. Lamé, a. a. O. p. 329. Nach Fresnel erfolgen die Schwingungen auf den Wellenoberflächen nicht in sphärischen, sondern in ellipsoidalen Curven: mit anderen Worten, sie sind parallel mit den Projectionen des Lichtstrahles auf die Ebene, welche die Fläche berührt, und nicht senkrecht auf dem Strahle, wie aus der mechanischen Theorie von Lamé hervorgehen würde. Nach beiden Annahmen bleibt die Gestalt der Welle dieselbe und auch die Strahlen sind rechtwinklig gegen einander polarisirt, weshalb die experimentelle Entscheidung dieser Frage sehr schwierig ist. Mittels Formeln, die vollständiger sind als die von Lamé aufgestellten, hat Cauchy dasselbe Resultat erhalten wie Fresnel. Eine andere Frage, die noch der Entscheidung wartet, ist folgende: sind die Schwingungen in polarisirten Strahlen senkrecht auf der Polarisationsebene oder parallel zu derselben? Quincke hält die letztere Annahme für erwiesen, während sich die Mehrzahl der Physiker für die erste Ansicht entscheidet. S.

Mittel ausbreitet und dass dieses Mittel von der wägbaren Materie verschieden ist: denn wird die letztere in lebhaftere Schwingungen versetzt, so wächst damit nicht entsprechend die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes, wie es stattfinden müsste, wenn die gegentheilige Annahme richtig wäre. Jenes Mittel ist materiell, aber unwägbar. Die Existenz dieses Mittels hat uns dagegen weiter zu Conjecturen über die innere Structur der Körper geführt, die wir aufstellten, um uns von den abstracten Kräften frei zu machen, welche man bisher einführte um die Erscheinungen der Cohäsion zu erklären. Wir wissen im Voraus, dass diese Hypothesen grossen Widerspruch von Seiten der Anhänger der alten Schulen erfahren werden, denn diese behaupten, dass in den Körpern noch etwas Anderes existire als nur Stoff und Bewegung, und halten es für einen grossen Irrthum, wenn man die Kräfte ableugnet, von deren Wesen sie selbst keine Rechenschaft geben können. Um alle Unklarheiten zu vermeiden, wollen wir ausdrücklich noch einmal erklären, dass wir selbst damit die Existenz von Kräften gar nicht leugnen: wir suchen deren Erklärung aber nur in den Bewegungen und den Eigenschaften eines Mittels, dessen Existenz nicht mehr angezweifelt werden kann. In derselben Weise, wie man einst zur Erklärung gewisser Thatsachen an Stelle des geheimnissvollen Grundes, den man als Horror vacui bezeichnete und seiner Zeit als eine Kraft ansah, den Druck der Atmosphäre setzte, so meinen wir, lassen sich jetzt mittels des Aethers eine Anzahl Erscheinungen erklären, welche man früher ebenso geheimnisvollen Ursachen zuschrieb. Wir geben diese Ansichten nur als Conjecturen, bemerken aber, dass auch Andere ähnliche Meinungen ausgesprochen haben[1]. In unseren Tagen haben Einige jene Conjecturen noch viel weiter getrieben, indem sie annahmen, dass es gar keine wägbaren Molecüle gäbe und dass das, was wir mit diesem Namen bezeichnen, nur aus eben solchen Wirbeln bestehe, wie wir sie vorausgesetzt

[1]) Wir berufen uns gern auf die Meinungen Anderer, einmal um ihnen gerecht zu werden, dann aber auch um zu zeigen, dass wir nicht selbsterfundene Hirngespinnste mittheilen; andererseits sind wir aber Galilei's Meinung, dass es ein Unglück ist, wenn man wissenschaftliche Fragen nicht anders behandeln kann, als in der Weise, dass man als Grundlage für seine Ansichten die Aussprüche Anderer und nicht das Wesen der Dinge selbst nimmt; es giebt aber gewisse Köpfe, die sich nur vor der Auctorität gewichtiger Namen beugen. S.

haben. Wenn wir die Wahrheit gestehen sollen, so neigen wir uns sehr stark zu dieser Meinung: allein da diese Annahme noch nicht absolut nothwendig ist, so wollen wir vor der Hand noch von ihr absehen.

Wir haben gesehen, dass die Schwingungen senkrecht zur Richtung des Strahles erfolgen und dass die Theorie im Allgemeinen die Möglichkeit hierfür nachweist: als wir weiter für diese Erscheinung einen physikalischen Grund aufsuchten, haben wir auf ein mechanisches Princip aufmerksam gemacht, durch welches das Entstehen der transversalen Schwingungen dem Verständniss näher gebracht wird, indem wir an die Rotationsbewegungen der Atome erinnerten; erfolgen die Schwingungen transversal, so erleidet die Dichtigkeit des Mittels durch sie keine Aenderung. Man kann im Allgemeinen nicht leugnen, dass gleichzeitig auch longitudinale Schwingungen erfolgen müssen, und streng genommen ist es gar nicht möglich, diese Componente zu entbehren, denn wie sollten sich ohne sie wohl die Bewegungen in der Richtung des Strahles fortpflanzen? Daher kann nur die Frage entstehen, ob sie, wenn sie wirklich existirt, sich in der Form von Licht bemerklich macht oder welche anderen Wirkungen sie wohl hervorbringen kann. Hierauf zu antworten würde noch nicht an der Zeit sein; wir müssen erst noch andere Erscheinungen untersuchen, welche uns der Lösung näher bringen: doch wir können jetzt schon eingestehen, dass diese Bewegung im Haushalte der Natur nicht vollständig wirkungslos sein kann, wenn wir auch jetzt nur vermuthen können, welcher Art die Wirkungen sind, die sie hervorruft. Die Meinung, dass sie Wärme erzeuge, lässt sich nicht halten, da man bewiesen hat, dass auch die strahlende Wärme polarisirt wird. Mehrere Naturforscher haben daran gedacht, dass diese Art der Oscillation die Ursache der Schwerkraft sei[1]): doch hiervon später.

So wie die Rotation der Aetheratome ein Mittel angiebt um die transversale Bewegung zu erklären, so zeigt uns die Rotation der wägbaren Molecüle den Grund für die Verschiedenheit der Elasticität des Aethers in den verschiedenen Richtungen im Innern der doppelt brechenden Krystalle. Indem wir die bisher bekannten

[1]) S. Keller, Comptes rendus, 1863. — Challis, Cosmos, 4. Dec. 1863. S. Auch die Bewegungen der Lichtmühle hat man auf diese Componente zurückführen wollen. Sch.

Thatsachen mit einander vereinigten, sind wir zu der Annahme geführt worden, dass die Rotationsaxen der Molecüle in jenen Körpern parallel zu einander gerichtet sind: die Folge hiervon würde sein, dass der Aether in ihrem Innern nach den verschiedenen Richtungen hin eine verschiedene Vertheilung finden muss. Auch haben wir weiter geschlossen, dass unter der Voraussetzung solcher Rotationen der Aether eine wechselnde Dichtigkeit erlangen muss durch die Ausdehnung, die er im Innern der Wirbel erleidet, welche jedes Molecül um sich her bildet. Diese verschiedene Dichtigkeit ist zugleich die Ursache für die Farbenzerstreuung durch das Prisma und für die Verschiedenheit in der Stellung der optischen Axen der Krystalle für die Strahlen von verschiedener Farbe. Da diese Stellung weiter durch die Wärme ausserordentlich beeinflusst wird[1]), so ist damit bewiesen, dass auch die Schwingungen der wägbaren Molecüle auf diese Erscheinungen einwirken. Die Rotationsbewegungen scheinen nicht in allen Körpern gleich beständig zu sein, weshalb wohl anzunehmen ist, dass sie sich leichter verschieben lassen in den Metallen und in den einfachen Körpern, deren Molecüle weniger complicirt und eckig sind, sodass die Trägheitsmomente bezüglich der Hauptaxen geringere Unterschiede zeigen. Bei der vollständigen Unkenntniss, in der wir uns sowohl bezüglich der elementaren Constitution des Aethers, wie auch der wägbaren Materie befinden, müssen wir uns auf diese Bemerkungen beschränken: nur aus der Absorption des Lichtes in den Metallen können wir noch vermuthen, dass dieselbe Ursache, welche bewirkt, dass die mechanischen Thätigkeiten gewisse dauernde Veränderungen in diesen Körpern hervorbringen, und welche auf einen unvollkommenen Grad von Elasticität sich zurückführen lässt, auch bei der Erscheinung von Einfluss ist, dass die Oscillationen in ihnen bei geringer Tiefe erlöschen.

Noch ist die Zahl der beobachteten Thatsachen zu gering, als dass wir aus ihnen die Natur des Aethers kennen lernen könnten, das Eine aber lässt sich mit Bestimmtheit sagen, dass er sich in seinen Eigenschaften von den Gasen wesentlich unterscheidet und dass seine Molecüle nicht durch so grosse Zwischenräume getrennt

[1]) Durch eine geringe Aenderung der Temperatur geht die Richtung der Axen in den Gypskrystallen aus dem negativen Sinne in den positiven über und ändert sich auch mit den verschiedenen Farben. S.

sind wie die der wägbaren Körper, sowie dass wir ohne ihn bei der Erklärung der Naturerscheinungen nicht auskommen können. Daher können wir uns auch nicht davon überzeugen, dass dieses Mittel zu nichts weiter bestimmt sei als blos Schwingungen auszuführen: und so wie wir sehen, dass alle Körper, welche in ähnliche Bewegungen gerathen können, dadurch auch im Stande sind, so viele andere Wirkungen hervorzubringen, so können wir uns nicht enthalten, seine Wirkung herbeizuziehen, wenn wir den Versuch machen die Kräfte, welche die Natur beherrschen, zu erklären. Indem wir den Kreis seiner Wirksamkeit erweitern, dürfen wir hoffen, dass wir zu einem besser übereinstimmenden Begriff der Naturkräfte gelangen: und so wie die Undulationstheorie des Lichtes die zahllosen Kräfte verschwinden liess, welche nach Newton's Theorie in den Körpern wirksam sein sollten, so wird auch die vollständige Theorie vom mechanischen Einflusse des Aethers bewirken, dass eine grosse Zahl der Kräfte verschwindet, durch welche man noch jetzt viele andere Thatsachen zu erklären versucht. Bei den grossen Anstrengungen, welche jetzt von vielen Gelehrten gemacht werden, ist es nicht allzu kühn, wenn wir hoffen, dass eines Tages die lange Reihe von anziehenden und abstossenden Kräften, welche jetzt noch die Physik bevölkern (wie Götter eines modernen Olympes, würde Emil Martin sagen), verschwindet und wir zu der Einsicht gelangen, dass es nicht schwer hält alle molecularen und chemischen Thätigkeiten auf den Druck des Aethers zurückzuführen.

„Die Existenz des Fluidum, das wir Aether nennen", sagt Lamé, „ist unwiderleglich bewiesen durch die Ausbreitung des Lichtes in den Räumen zwischen den Planeten, wie auch durch die so einfache und vollständige Erklärung, welche die Erscheinungen der Beugung des Lichtes in der Wellentheorie finden; weiter beweisen auch die Gesetze der doppelten Brechung, wie wir gesehen haben, mit nicht geringerer Sicherheit, dass der Aether alle durchsichtigen Mittel durchdringt. Es giebt also in der Welt nicht blos wägbare Materie, sondern die Theilchen derselben schwimmen gewissermassen inmitten eines Fluidum. Wenn dieses Fluidum auch vielleicht nicht die einzige Ursache aller Erscheinungen ist, die wir beobachten, so muss es dieselben wenigstens beeinflussen, ausbreiten und ihre Gesetze verwickelter machen. Es ist daher nicht mehr möglich eine rationelle und vollständige Erklärung für die Erscheinungen der Natur zu geben, ohne dass man dieses Agens in Rechnung

zieht, dessen Gegenwart nicht mehr weggeleugnet werden kann. Daran ist nicht zu zweifeln, dass die Berücksichtigung desselben, wenn sie in vernünftiger Weise angewendet wird, uns das Geheimniss oder die wahre Ursache der Wirkungen enthüllen wird, welche man der Wärme, der Elektricität, dem Magnetismus, der allgemeinen Massenanziehung, der Cohäsion, der chemischen Verwandtschaft zuschreibt; denn alle diese geheimnissvollen und unbegreiflichen Wesen sind im Grunde genommen doch nur Hypothesen, welche für unsere gegenwärtige Unwissenheit ohne Zweifel von Nutzen sind, welche aber durch die Fortschritte der wahren Wissenschaft schliesslich doch entthront werden[1]).“

Zu dem, was Lamé in diesen Worten so klar ausgesprochen hat, haben wir nichts weiter hinzuzufügen als den Wunsch, dass der Tag bald herannahen möge, an welchem jene räthselhaften Wesen vor der wahren Wissenschaft erbleichen. Im nächsten Buche aber wollen wir dazu übergehen, dass wir uns fragen, welche neue Lichter auf diese Gegenstände das Studium der Elektricitätslehre wirft.

[1]) Lamé, Schluss des citirten Werkes. — Bezüglich der Rotationsbewegungen der Molecüle s. Bull. méteorol. de l'Observatoire de Paris, 17 Dec. 1863 (M. de Colmet d'Huart). S.

Ende des ersten Bandes.

Druck von Bär & Hermann in Leipzig.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Secchi, Angelo,

Die Einheit der Naturkräfte ein Beitrag zur Naturphilosophie

Bd.: 1

1884

Bamberg, Staatsbibliothek -- H.n.o.105-a#1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11835474-0